

АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



ЭСТОНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИН 1955

ARH

192027



XI

A-5149

АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬСТВА И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ТРУДЫ ВТОРОГО СОВЕЩАНИЯ ПО РАСШИРЕНИЮ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СЛАНЦА-КУКЕРСИТА

51158

УБРАННЯ

ЭСТОНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИН 1955

Содержанием настоящего сборника являются доклады и сообщения, заслушанные на организованном Институтом строительства и строительных материалов АН ЭССР 25—29 декабря 1954 г. в Таллине Втором совещании по вопросам использования в строительстве неорганической части сланца-кукерсита.

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии наук Эстонской ССР

РИСО № 193



ARHIIVKOGU

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Р. Т. МАХЛЬ,

член-корреспондент Академии наук Эстонской ССР

Товарищи! Открывая Второе совещание по вопросам расширения использования в строительстве неорганической части горючего сланца-кукерсита, разрешите сказать несколько слов в связи с изучением возможностей использования сланцевой золы.

Сланцевая промышленность Эстонской ССР неуклонно растет. В пятой пятилетке эстонская сланцевая промышленность должна добыть сланца в 2,5 раза больше, чем было добыто к концу четвертой пятилетки.

В шестой пятилетке, а также и в седьмой добыча горючего сланца будет расти более быстрыми темпами, чем до сих пор. Примерные расчеты по добыче горючего сланца показывают, что к концу шестой пятилетки добыча сланца может достигнуть 20 млн. тонн, а к концу седьмой приблизительно до 40 млн. тонн. Эти цифры показывают, какое громадное значение приобретает правильное народнохозяйственное использование минеральной части горючего сланца — золы.

Исследования по использованию сланцевой золы начались около 30 лет тому назад и продолжаются до сих пор. Основным направлением в деле использования сланцевой золы до последнего времени было изучение пригодности золы для изготовления строительных материалов, а также для использования в сельском хозяйстве при известковании кислых почв.

В свете последних постановлений партии и правительства по строительству и сельскому хозяйству вопрос об использовании сланцевой золы становится еще более актуальным.

В 1950 году состоялось первое совещание по вопросам расширения использования в строительстве неорганической части горючего сланца-кукерсита. Что является характерным для научных работ по этому вопросу до 1950 года? Нам кажется, что характерным для подавляющего большинства работ этого периода является их производственно-технологическая направленность — изучение только отдельных видов сланцевых зол с целью установить пригодность данной золы для изготовления строительных материалов.

К сожалению, на основе проведенных в этом плане работ невозможно было сделать общих выводов о сланцезольных материалах, вывести для них определенные закономерности.

Результаты работ, в основном физико-механические показатели, были подчас настолько противоречивыми, что на основе их нельзя было делать заключения даже о пригодности или непригодности исследованной золы. Все же общее заключение из изучения сланцевых зол можно было бы резюмировать следующим образом: отдельные виды сланцевой золы пригодны для изготовления строительных материалов — стенового кирпича, вяжущих веществ, бетонов и т. д.

Наиболее ясно и обосновано был решен вопрос об использовании сланцевой золы в сельском хозяйстве. Здесь можно было с уверенностью отметить, что сланцевая зола, безусловно, полезна и пригодна для известкования кислых почв, превосходя по своим свойствам другие известковые удобрения благодаря наличию в ней калия, серы, марганца и ряда полезных микроэлементов: меди, бора, молибдена и др.

В работах, проведенных после 1950 года, по сравнению с работами предыдущих лет, направление, как правило, не изменялось, и они не давали материала для более широких обобщений. Только работы самых последних лет посвящаются изучению таких вопросов, как минералообразование, процессы твердения и т. п., т. е. вопросов, касающихся не отдельных конкретных зол, а освещающих общие вопросы получения сланцевых зол, пригодных для изготовления строительных материалов.

Навряд ли можно ожидать серьезных результатов от работ по изучению сланцезольных материалов, если не будут установлены общие теоретические основы золообразования, не будет установлена твердая основа для оценки сланцевой золы как строительного материала, не будет выработан такой процесс получения сланцевой золы, который обеспечил бы получение стандартной продукции.

Мы должны согласиться, что всем нам резко бросается в глаза разрыв между большим количеством научных работ, проведенных в области изучения сланцевой золы, и малым количеством случаев практического внедрения в промышленности достижений в этой области науки. У нас, в Эстонской ССР, где ежегодно образуется несколько миллионов тонн сланцевой золы, для изготовления строительных материалов фактически используется около 40—50 тыс. тонн золы. Имеется только одно предприятие, а именно завод «Кукермит», выпускающее сланцезольное вяжущее. Следует, к сожалению, отметить, что мы мало, во всяком случае недостаточно, делаем для повышения качества продукции этого завода и усовершенствования его технологического процесса.

В чем главная причина такого отставания в деле внедрения в производство результатов научных работ по сланцевой золе?

Нам кажется, что главными причинами являются: 1) малая уверенность строителей в стабильности качества сланцезольных материалов; 2) малая изученность сланцезольных материалов в эксплуатационных условиях; 3) некоторая поверхностность ряда проведенных научных исследований.

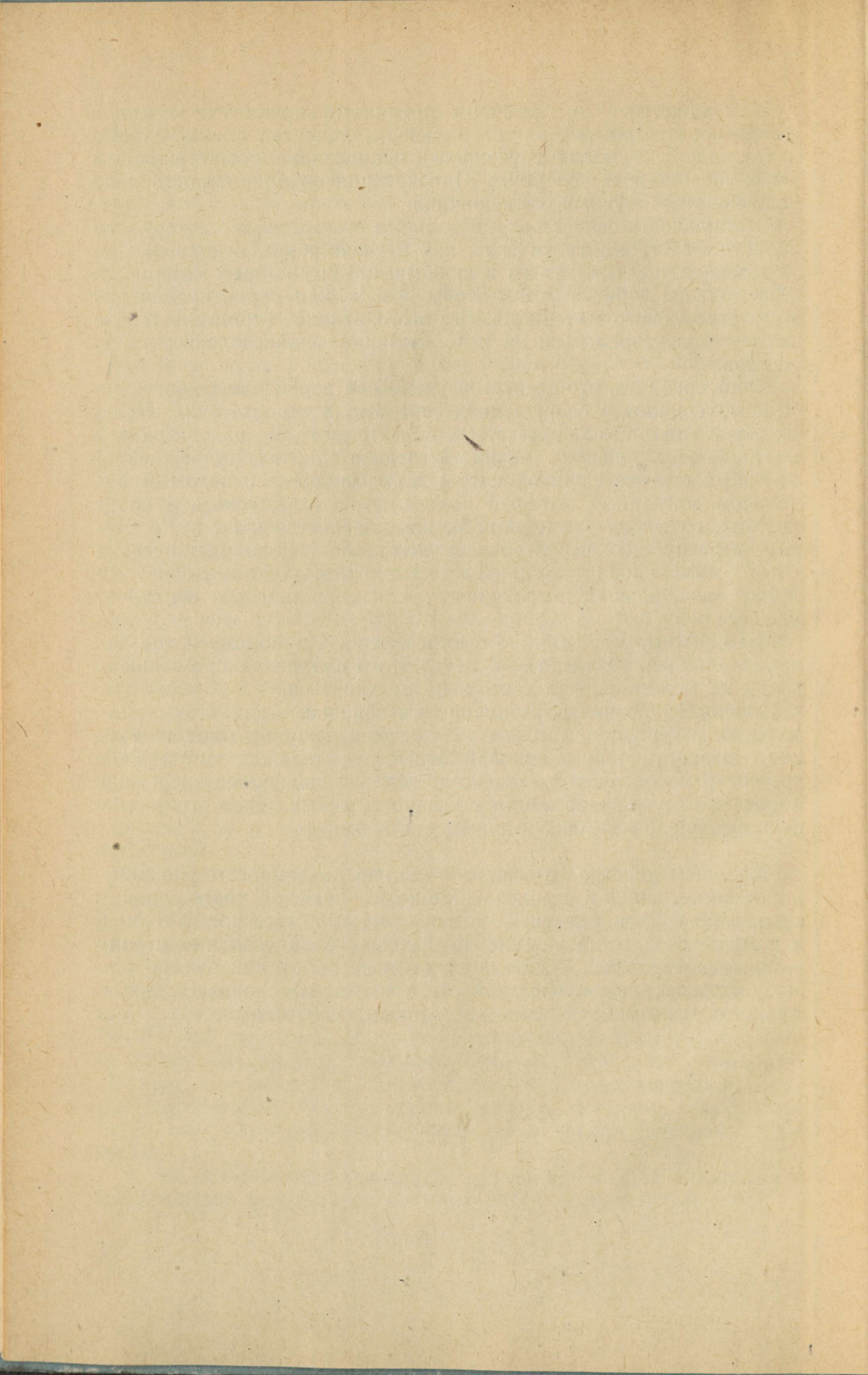
Стабильность свойств сланцезольных строительных материалов является в строительном деле, как мы все знаем, основным требованием, предъявляемым к любому строительному материалу. Мы должны добиться того, чтобы всегда был гарантирован выпуск стабильного материала. Без этого никакое строительство не может ориентироваться на использование сланцезольных материалов.

Надо признать, что степень изученности поведения сланцезольных материалов в сооружениях совершенно недостаточна. Нельзя же считать, что те три-четыре объекта, которые находятся под наблюдением наших научно-исследовательских учреждений, вполне достаточны для окончательного суждения о новом строительном материале, который предполагается выпускать в количествах, во много раз превышающих количество ныне выпускаемых в республике строительных материалов. Дело идет здесь о сотнях миллионов штук сланцевого кирпича и о сотнях тысяч тонн (если не больше) высококачественных сланцевых вяжущих веществ.

Мы должны, и как можно быстрее, решить проблему использования сланцевой золы, так как без этого сланцевая промышленность не может дальше нормально развиваться.

Научные работники, занимающиеся вопросами изучения строительных материалов, должны дать исчерпывающий ответ по вопросу выработки из сланцевой золы строительных материалов *хорошего и постоянного* качества; должны еще более энергично бороться за внедрение в промышленность новых видов строительных материалов на основе сланцевой золы.

Пожелаем успеха Второму совещанию по вопросам расширения использования в строительстве неорганической части сланца-кукерсита. Будем надеяться, что это совещание даст новый толчок в деле строительства заводов по выпуску сланцезольных строительных материалов, и что наши научные работники быстро решат вопросы, связанные с изготовлением высококачественных сланцезольных материалов с постоянными свойствами.



О ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ОЦЕНКЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ПРИБАЛТИКИ

С. С. БАУКОВ

Главной задачей геологической и промышленной оценки месторождения любого полезного ископаемого является прежде всего определение типа самого полезного ископаемого, а именно основных свойств породы, позволяющих считать ее полезным ископаемым; далее необходимо знать промышленное качество полезного ископаемого, геологическое строение месторождения и запасы, как основу рационального шахтного строительства. Геологическая оценка месторождения в отличие от промышленной является более широкой и перспективной, поскольку она направлена на исчисление всех запасов полезного ископаемого, которые с выгодой могут разрабатываться не только в данный момент, но и в будущем.

Правильная геолого-промышленная оценка прибалтийских горючих сланцев в настоящее время зависит, во-первых, от качественной оценки горючих сланцев как типа полезного ископаемого, и, во-вторых, от требований, предъявляемых потребителями к качеству товарного сланца.

До сих пор качественную оценку прибалтийских горючих сланцев ограничивают только учетом тех качеств, которые удовлетворяют требованиям в отношении пригодности их для топливных целей, переработки на газ и жидкие продукты. Главным показателем качества товарного сланца при этом является содержание в нем органического вещества или теплотворная способность сланца и выход масла из него.

Минеральная же (негорючая) часть сланца рассматривается как балласт. В то же время доказано не только лабораторно, но и практически, в промышленных масштабах, что минеральная составная часть горючих сланцев, которая переходит в зольный остаток после сжигания или в кокс (полукокс) после переработки сланца, является пригодной для использования в промышленности строительных материалов и в агротехнике. С другой стороны, требования потребителей к качеству товарного сланца (главным образом сланцеперерабатывающей промышленности, являющейся в настоящее время основным потребителем сланца) значительно превышают качество сланца в залежи, что при отсутствии внедренного в производство механического способа обогащения приводит к необходимости вести отработку пласта сланца

на неполную его мощность, выборочно, с оставлением в недрах до 40 и более процентов балансовых запасов сланца.

Теряемый в настоящее время при добыче сланец по своему качеству вполне удовлетворяет техническим требованиям в отношении его пригодности как для топливных целей, так и для целей переработки, а остающаяся после такого использования сланца минеральная часть пригодна для потребления в промышленности строительных материалов и в агротехнике.

Такие большие эксплуатационные потери сланца не только уменьшают минеральную базу нашей промышленности, но и ведут к сокращению срока существования шахт почти наполовину, влияют на снижение производительности труда и на повышение себестоимости добычи.

Добыча сланца в Эстонской ССР из года в год растет. При современном ее уровне потери сланца достигают нескольких миллионов тонн в год. В то время как на шахтах Эстонской ССР сланец, который мог быть извлечен из недр как попутная добыча, теряется, на шахтах в Ленинградской области сланец такого же качества добывается шахтами в более трудных горно-геологических условиях и по себестоимости обходится в два с лишним раза дороже. При этом потери сланца на шахтах Эстонской ССР с одного квадратного метра отработанной площади почти равны производительности пласта, обрабатываемого на шахтах в Ленинградской области. Сланец с шахт в Ленинградской области используется как для энергетических целей, так и для целей переработки.

Этот пример убедительно показывает нашу неправильную техническую политику в использовании запасов горючих сланцев, направленную на использование только наиболее богатой части их.

За годы существования Советской власти, благодаря совершенствованию методов производства, многие природные материалы, считавшиеся прежде непригодными, в настоящее время широко используются в качестве сырья для промышленного производства. Надо считать справедливым и для горючих сланцев такое положение, что улучшение методов сжигания и методов переработки их должно идти по пути максимального использования природных запасов, а не по пути выборки для этой цели только лучшей части запасов с допущением больших потерь.

Потеря миллионов тонн в год ценного минерального сырья должна заставить нас серьезно задуматься о судьбе Прибалтийского сланцевого бассейна, который для Северо-Запада СССР является наиболее важной топливно-энергетической и сланцехимической базой.

Настало время пересмотреть наше отношение к горючим сланцам, с тем чтобы их более рационально использовать.

Во-первых, при оценке промышленных качеств горючего сланца, наряду с его способностью гореть с выделением тепла и давать газ и смолу при переработке, необходимо учитывать также и по-

лезные свойства его минеральной (негорючей) части, пригодной для изготовления строительных материалов и для известкования почв. Другими словами, промышленная оценка горючих сланцев, как типа полезного ископаемого, должна обязательно учитывать комплексное и всестороннее использование органической и минеральной составных частей сланца, что, несомненно, еще более повысит эффективность потребления сланца в народном хозяйстве.

Отсюда следует, во-вторых, необходимость пересмотра существующих норм на качество товарного сланца, предъявляемых со стороны энергетической и сланцеперерабатывающей промышленности, с тем чтобы привести эти нормы по качеству в соответствие с качеством сланца балансовых запасов. Это мероприятие позволит извлекать сланец из недр наиболее полно, без больших потерь и понизит его стоимость.

По данным Государственного проектного института «Ленгипрошахт», технико-экономические показатели при различных вариантах выемки пласта сланца подземным способом на шахтах комбината «Эстонсланец» Министерства угольной промышленности СССР будут следующие:

Показатели	Единица измерения	Варианты выемки пласта		
		От слоя А до слоя Е включительно с ручной отборкой породы крупностью +25 мм	На полную мощность от слоя А до слоя F включительно	
			с ручной выборкой породы крупностью +100 мм	то же, с последующим механическим обогащением
Среднемесячная производительность 1 рабочего	т	50,0	78,0	76,0
Себестоимость 1 т сланца	%	100,0	73,0	80,0
Содержание органического вещества в сланце на абс. сухое вещество	%	39,0	30,0	39,0
Извлечение сланца из недр	%	60,0	93,0	93,0

При открытых разработках себестоимость добычи будет еще меньше.

Чтобы составить еще более правильное представление о ценности горючего сланца месторождения Эстонской ССР, следует указать, что добыча его, даже при существующем способе неполной отработки пласта, более выгодна, чем добыча других видов топлива, тяготеющих к Северо-Западу СССР. Это видно из следующих сравнительных данных проектной производственной себестоимости одной тонны условного топлива франко-Ленинград: если стоимость горючего сланца месторождения Эстонской ССР, добытого открытым способом, принять за 100, то для сланца, до-

бытого подземным способом, она равна 130, для ленинградского торфа — 138, для печорского каменного угля — 340, а для бурого угля северо-западного крыла Подмосковского бассейна (Новгород-уголь, Нелидовуголь) — 355.

Эти цифры убедительно доказывают, какую большую природную ценность представляют собой горючие сланцы месторождения Эстонской ССР для нашего народного хозяйства. Это обязывает нас использовать эти богатства рационально, тем более, что все действующие шахты по добыче сланца на территории Эстонской ССР в настоящее время расположены в местах неглубокого залегания пласта сланца и наибольшей его мощности, т. е. в местах, наиболее благоприятных для разработки по горно-геологическим условиям.

Ниже приводится краткая характеристика вещественного состава прибалтийских горючих сланцев.

Состав горючих сланцев практически можно принять за трехкомпонентный: одним из компонентов является органическое вещество, другим — карбонат кальция и магния и третьим — преимущественно терригенный (кластический) материал и частично аутигенные минералы.

В природных условиях имеют место различные количественные соотношения этих компонентов от пород с наиболее богатым содержанием органического вещества до пород, в которых органического вещества почти нет; в первом случае порода будет называться сланцем, а в последнем — известняком. Между этими крайними разностями пород имеются переходные.

Имеющиеся до сих пор данные анализа показывают, что элементарный состав органического вещества, состав карбонатной части и состав терригенного материала существенно не отличаются в указанных разностях пород.

Элементарный состав органического вещества по пластово-промышленным пробам с шахт месторождения Эстонской ССР следующий (в %):

C	77,11—77,64
H	9,49— 9,84
S орг.	1,65— 1,95
Cl	0,60— 0,96
N	0,30— 0,44
O (по разн.)	9,79—10,22

(По анализам Таллинского политехнического института.)

Близки к этим данным и результаты анализов многих других авторов.

По данным Н. Л. Дилакторского и др., состав карбонатной части в сланцевых слоях и в известняковых слоях следующий (в %):

CaO	52—55
MgO	2—5
CO ₂	40—46

По минералогическому составу этот карбонатный материал представлен преимущественно кальцитом.

Терригенный материал (+ аутигенные минералы) сланца и известняка по химическому составу характеризуется содержанием (в %):

SiO_2	51—62
TiO_2	0,5—1,2
Al_2O_3	12—17
Fe_2O_3	4—7
K_2O	5—10
Na_2O	0,2—1,5
MnO_2	0,1—0,3
FeS_2	2—20
SO_3	0,6—2,1

Минералогический состав этой составной части изучен недостаточно. По Н. Л. Дилакторскому, она состоит главным образом из кварца (39%) и гидрослюд (30%), затем следует ортоклаз (12%) и марказит (12%); имеются единичные находки минералов тяжелой фракции — титанита, циркона, граната, турмалина, рутила и др. явно кластического происхождения.

Нет пока оснований считать также, что химический и минеральный состав компонентов сланца и известняка, слагающих промышленный пласт сланца, значительно изменяется в границах промышленной площади сланцевого бассейна, за исключением восточной части месторождения Эстонской ССР, где между Вивиконна и р. Нарва, на участке неглубокого залегания сланцевых слоев, можно ожидать вторичное изменение органического вещества (окисление) и карбонатной части (доломитизация). Однако точных аналитических данных по этому участку еще не получено.

Промышленный пласт сланца эстонского месторождения состоит из сланцевых слоев А—А', В, С, D, Е и F и разделяющих их известняковых прослоев. Мощность этих слоев, а также содержание органического вещества, карбоната и терригенного материала в них различны. При разработке такого пласта можно получить товарный продукт разного состава, в зависимости от того, какие слои будут участвовать в добыче.

Нужно еще сказать, что относительное содержание органического вещества, карбоната кальция и терригенного материала в каждом слое сланца и в породном прослое оказывается закономерным. На треугольной диаграмме (рис. 1) видно, что каждый слой занимает свое определенное место, определяемое содержанием компонентов, причем породные прослои фиксируются в карбонатном углу треугольника. Показанная на представленной диаграмме (рис. 2) средняя проба взята по слоям А, А', В, С, D и Е. При этом производительность пласта будет равна 2,7 т/м² (при 10% влажности), содержание органического вещества на сухую массу 33,2%, содержание CaCO_3 — 44,4%, содержание терригенного материала — 22,4%.

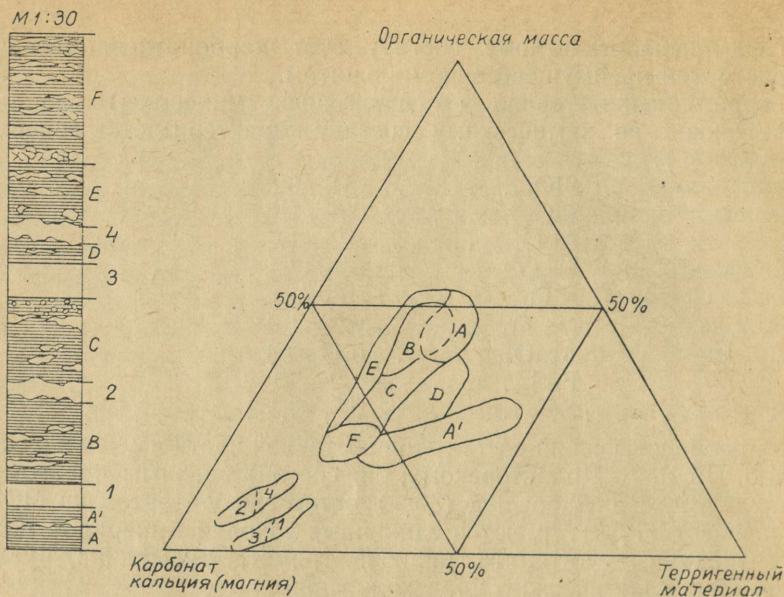


Рис. 1. Строение промпласта сланца и графическое выражение компонентного состава отдельных сланцевых слоев и известняковых прослоев.

Фракции по удельному весу	Выход фракции, %	Содержание в %		
		органическая масса	Карбонат	терригенный материал
< 1,3	8,6	61,0	19,3	19,7
1,3-1,4	16,1	53,4	23,1	23,5
1,4-1,6	18,1	43,0	28,4	28,6
1,6-1,8	28,8	32,0	35,5	32,5
> 1,8	26,4	7,0	78,8	14,2
Пластовая проба	100,0	33,2	44,4	22,4

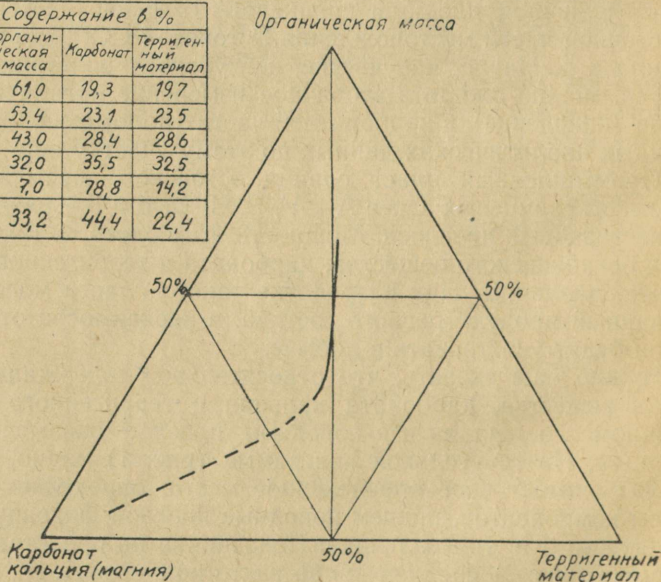


Рис. 2. Изменение содержания составных компонентов горючего сланца в зависимости от его удельного веса. Фракции сланца по удельному весу выделены в тяжелых жидкостях из исходной пластово-промышленной пробы, в которую вошли сланцевые слои А, А', В, С, D и E и включенные в них известняковые прослои. Размер кусков 0—100 мм. Пластово-промышленная проба на графике показана точкой.

При обогащении такого сланца, за счет выделения из него того или иного количества породы с малым содержанием органического вещества, получается продукт с содержанием органического вещества от 32 до 61%; при этом с увеличением содержания органического вещества в обогащенном сланце пропорционально будет уменьшаться содержание карбоната кальция с 35,5 до 19,3% и содержание терригенного материала с 32,5 до 19,7%. Хвосты, выход которых при этом составляет 26%, содержат 7% органического вещества, 78,8% карбоната кальция и 14,2% терригенного материала.

Сказанное позволяет сделать вывод, могущий иметь практическое значение. Несмотря на сложное строение пласта, вещественный состав добываемого сланца изменяется закономерно, в зависимости от количественных соотношений вырабатываемых слоев; при уменьшении содержания органического вещества в сланце от 60 до 30% увеличение содержания карбоната кальция и увеличение терригенного материала идет линейно; при уменьшении содержания органического вещества в сланце ниже 30% — относительное содержание карбонатов увеличивается в большей мере, чем содержание терригенного материала. Таким образом, по процентному содержанию органического вещества в сланце можно судить о составе его минеральной части. Знание такой закономерности изменения состава сланца может быть полезным при установлении по отдельным шахтам оптимальных показателей качества товарного сланца, предназначенного для комплексного использования.

*Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР*

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ОТХОДЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ (ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ) ПЕРЕРАБОТКЕ СЛАНЦА

М. Я. ГУБЕРГРИЦ

В соответствии с решениями партии и правительства, сланцевая промышленность Эстонской ССР в последние годы получила значительное развитие. В особенности расширена новая отрасль промышленности — газосланцевая; существенно увеличено производство искусственного жидкого топлива (на основе термической переработки сланца-кукерсита).

Основой дальнейшего развития сланцевой промышленности должен явиться не только количественный рост числа предприятий, но и совершенствование технологии переработки на существующих установках, внедрение методов комплексного использования сланца (°). В свете этих задач существенную роль должно играть использование неорганических отходов термической переработки сланца (с учетом увеличения их абсолютного выхода и изменения свойств по мере совершенствования методов переработки).

Целью настоящего сообщения является краткий обзор современного состояния технологии термической переработки кукерсита и, в частности, характеристика неорганических отходов — твердого остатка переработки. В связи с этим следует прибегнуть к несколько необычной системе классификации методов и установок для переработки сланца; основным критерием при этом должна явиться характеристика твердого остатка.

К первой группе следует отнести технологические методы и агрегаты, в которых одним из конечных продуктов переработки является углеродистый материал (полукокс и кокс).

Во вторую группу следует включить методы, связанные с так называемой «безостаточной» переработкой органической части сланца, т. е. получением золы, практически не содержащей углерода.

ПЕРВАЯ ГРУППА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И УСТАНОВОК

1. Полукоксование сланца в туннельных печах

Туннельная печь является одним из наиболее распространенных и испытанных агрегатов для полукоксования сланца. Основным назначением ее является получение искусственного жидкого топ-

лива. Производительность печей различных конструкций составляет от 50 до 300—400 тонн в сутки (по перерабатываемому сланцу) (4, 5).

Принцип действия туннельной печи основан на постепенном нагреве сланца до температуры 460—475° газовым теплоносителем в передвижаемых вагонетках. Технологический туннель, в котором передвигаются вагонетки со сланцем, разделен на ряд отсеков. Рабочая часть туннеля отделена от внешней среды специальным шлюзом. Камера сушки и термической подготовки, в которой сланец подвергается нагреву до 120°, отделяется от камеры полукоксования вторым шлюзом. В камере полукоксования осуществляется процесс перегонки сланца в интервале температур 120—475°; она вмещает двенадцать вагонеток. Далее полукокс подвергается отдувке перегретым паром и обрабатывается водой.

Теплоносителем служат рециркулирующие парогазовые продукты термического разложения сланца; подогрев теплоносителя до требуемой температуры производится в специальных перегревателях за счет тепла продуктов горения из обогревательного канала. После прохождения сквозь слой сланца в вагонетке несколько охлажденная парогазовая смесь снова подается с помощью вентилятора в перегреватели; в каждом рабочем месте осуществляется замкнутый цикл циркуляции теплоносителя (рис. 1).

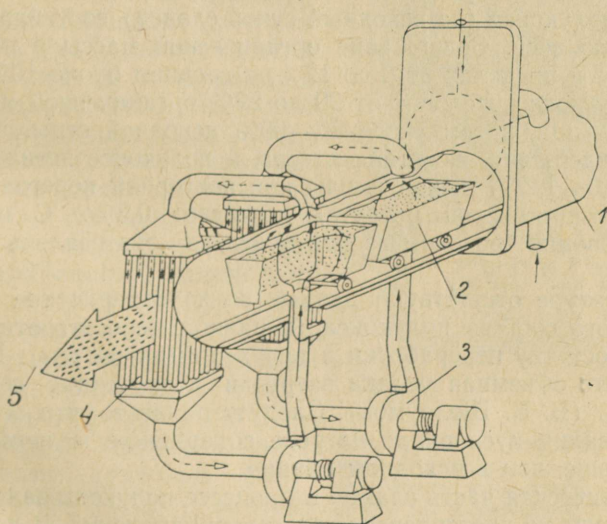


Рис. 1. Схематический разрез туннельной печи.
 1 — туннель, 2 — вагонетка со сланцем, 3 — циркуляционный вентилятор, 4 — перегреватель,
 5 — продукты горения.
 → циркулирующий теплоноситель.

Таким образом, в туннельной печи сочетаются принципы внешнего (подогрев теплоносителя) и внутреннего (нагрев сланца) обогрева.

Сырьем для переработки в туннельной печи является технологический сланец с влажностью 7—10% и содержанием органической массы не менее 31—32%. Дальнейшее снижение содержания органического вещества в технологическом сланце, как показали специальные промышленные испытания, приводит к существенному снижению абсолютного выхода продуктов полукоксования. Нормативами предусмотрен следующий ситовый состав загрузки:

Орех, крупность 10—40 мм	от 20 до 25% вес.
Технологический сланец, 40—100 мм	от 75 до 80% „

Примерный ситовый состав технологического сланца (3) приведен в табл. 1. Повышенное содержание мелочи в перерабатываемом сланце может привести к расстройству работы печи.

Свойства твердого остатка — полукокса — определяются условиями процесса полукоксования в туннельной печи. Скорость нагрева сланца в этом случае относительно невелика: продолжительность пребывания одной вагонетки в камерах сушки и полукоксования составляет от двух до двух с половиной часов. Пиролиз выделившихся парогазовых продуктов в камере полукоксования протекает в мягких условиях. Вследствие пиролиза отложения углерода имеют место, в основном, в трубах перегревателей, а не на поверхности перерабатываемого материала.

Выход полукокса (на исходный сухой сланец) составляет около 73—74% по весу. Содержание органической массы в полукоксе колеблется в пределах от 8 до 12%, в среднем около 10%*. При этом в полукоксе переходит от 20 до 22% органической массы исходного сланца, в том числе 50—60% исходной серы. Фактическое же содержание всех видов серы в полукоксе незначительно — всего 1,0—1,2%. Выход смолы при повторной перегонке полукокса (в алюминиевой реторте) достигает 0,3%. С помощью экстрагирования бензолом из полукокса удается извлечь до 1,4% смолы.

В литературе отсутствуют данные по характеристике гранулометрического состава полукокса (в равной мере это относится к твердому остатку переработки в печах других систем). Известно только, что объемная усадка загрузки в вагонетке составляет около 10% (В. В. Шелоумов). Следует полагать, что вследствие растрескивания кусков при нагреве содержание мелочи в полукоксе больше, чем в исходном сланце.

Неорганическая часть сланца в процессе полукоксования в туннельной печи не претерпевает серьезных изменений. В частности, карбонаты минеральной части в указанных температурных пределах не подвергаются разложению.

* По данным В. В. Шелоумова, Диссертация, Московский институт химического машиностроения, 1954.

2. Коксование сланца в камерных печах

Камерные печи предназначены для высокотемпературной переработки (коксования) кукурсита с целью получения бытового высококалорийного газа. В последние годы они получили широкое распространение в Прибалтийском сланцевом бассейне.

Схематический разрез камерной печи приведен на рис. 2 (*). Камера коксования обогревается извне с помощью системы спаренных отопительных каналов, объединенных в два обогревательных простенка на каждую камеру. В отопительных каналах происходит горение смеси энергетического газа (получаемого в шахтных генераторах) и воздуха.

Исходный технологический сланец загружается в верхнюю часть камеры коксования и постепенно сходит вниз. Он последовательно проходит через зоны: сушки и термической подготовки; коксования; крекинга; охлаждения. Температура в зоне коксования достигает $800-850^{\circ}$. Продукты термического разложения из зоны коксования отводятся вниз сквозь слой раскаленного материала. Этим осуществляется дополнительный крекинг (пиролиз) парогазовой смеси. Куски сходящего вниз материала обогащаются углеродом за счет глубокого термического разложения углеводородов смолы и газа. В зоне охлаждения кокс обрабатывается перегретым водяным паром и непрерывно выгружается в нижней части печи.

К качеству технологического сланца для камерных печей предъявляются более жесткие требования, нежели к сырью для туннельных печей. Содержание органической части в нем допускается, как правило, не ниже 35—37% на сухую массу (по нормам ГОСТ — 37%). Гранулометрический состав его также более жестко выдерживается в пределах крупности 40—100 мм.

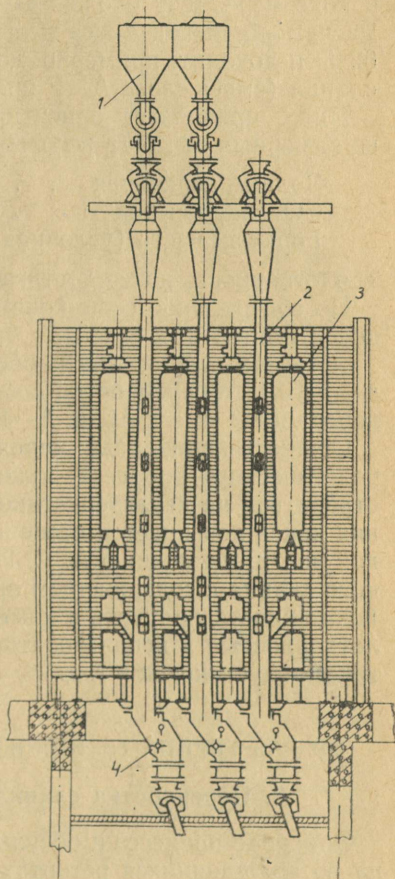


Рис. 2. Разрез вдоль батареи камерных печей. 1 — загрузочное устройство, 2 — камера коксования, 3 — вертикальный обогревательный канал, 4 — экстрактор для непрерывной выгрузки кокса.

По данным Всесоюзного научно-исследовательского института по переработке сланцев Министерства нефтяной промышленности СССР*, основанным на результатах специальных промышленных испытаний, уменьшение содержания органической массы в исходном сырье (переход на сырье — смесь сланца слоев А—F) вызывает существенное снижение производительности печей по газу.

В результате термической переработки сланца в камерной печи в кокс переходит около 24—25% исходной органической массы. Расчетный выход кокса (на рабочий сланец) составляет около 62% и доходит примерно до 70% при коксовании обедненного сланца (смесь слоев А—F промпачки).

Ниже приводятся ориентировочные данные по составу кокса из камерных печей (в весовых процентах на сухую массу):

Зола минеральная	около 67
СО ₂ карбонатов	„ 18
Горючая часть (условная органическая масса)	„ 15

Теплотворность кокса достигает 680—700 ккал/кг.

По содержанию серы кокс практически не отличается от полукочка туннельных печей.

Степень разложения карбонатов неорганической части сланца в результате переработки составляет обычно около 30—35%; при переработке смеси слоев А—F она снижается до 24—25%.

Осуществление ряда мероприятий по совершенствованию технологического процесса должно, несомненно, в известной мере отразиться на характеристике кокса. Так, в результате догазования кокса повышается степень разложения карбонатов минеральной части; по мнению А. С. Пегушина (7), применение обогащенного сланца с содержанием органической массы до 40—42% даст возможность получить в камерных печах кокс с повышенной теплотворностью и использовать его в качестве топлива для энергетических установок и т. д.

ВТОРАЯ ГРУППА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И УСТАНОВОК

3. Переработка сланца во вращающихся ретортах

Описание процесса и обсуждение результатов переработки сланца во вращающихся ретортах не представляется целесообразным в рамках настоящего сообщения. Производительность реторт весьма незначительна (до 20 т/сутки) и дальнейшее сооружение их мало вероятно**.

* См. доклад Н. И. Зеленина на совещании ЛенВНИТО и ЭСНИТО по вопросу рационального развития добычи и использования прибалтийских горючих сланцев в ближайшие годы, г. Йыхви, декабрь 1953 г.

** По устному сообщению А. Я. Аарна, стоимость продуктов при переработке сланца во вращающихся ретортах оказывается наименьшей (примеч. редактора).

4. Переработка сланца в шахтных генераторах

В шахтных генераторах процесс полукоксования сланца сочетается с догазованием полукокса и сжиганием органической части твердого остатка. Назначение агрегатов — получение смолы (жидкого топлива) и энергетического газа. Существует ряд конструктивных вариантов шахтных генераторов, для которых производительность по сланцу колеблется в пределах от 30 до 85—120 т/сутки (2). Современные генераторы высокой производительности располагаются большей частью в непосредственной близости от камерных печей, снабжая их энергетическим (отопительным) газом.

Шахтный генератор состоит из трех основных технологических узлов (рис. 3): шахты полукоксования, пережима и газификатора и представляет собой агрегат с внутренним обогревом.

Сланец, загружаемый сверху в шахту полукоксования, при ходе вниз последовательно подвергается сушке, термической подготовке и полукоксованию за счет тепла встречного потока газового теплоносителя. Последний представляет собой смесь продуктов горения кокса и догазования полукокса, с добавкой циркулирующего «обратного» генераторного газа. Температура теплоносителя при входе в шахту — около 640—650°, на выходе — около 150—190°.

Пережим — суженная цилиндрическая горловина — служит для разделения зон полукоксования и газификации. В нем осуществляется также непродолжительная изотермическая выдержка полукокса.

Полукокк из пережима сходит в газификатор, где происходит сперва его дококсовывание при температуре 750—850°. В нижней части газификатора осуществляется сжигание (в присутствии водяного пара) органической части кокса за счет кислорода подаваемого воздушного дутья.

Зола механически удаляется с вращающегося поддона. Золоудаление мокрое.

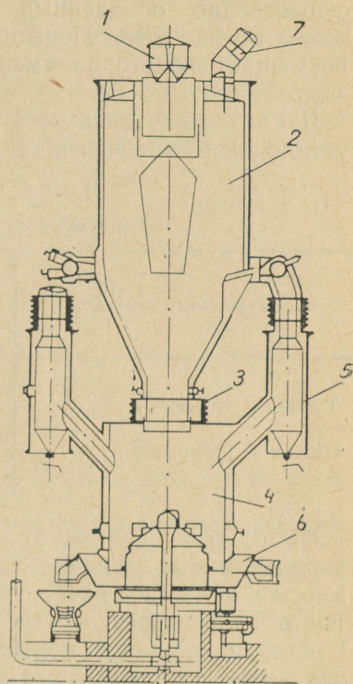


Рис. 3. Шахтовый сланцевый генератор (схематический вертикальный разрез). 1 — загрузочное устройство, 2 — шахта полукоксования, 3 — пережим, 4 — шахта газификатора, 5 — обводные стояки, 6 — устройство для механического удаления золы, 7 — газослив.

Сырьем для переработки в генераторах является кусковой технологический сланец с содержанием органической массы 34—36%. Практика промышленной эксплуатации мощных генераторов на одном из предприятий сланцевого бассейна Эстонской ССР показала, что для переработки в них с успехом может применяться существенно обедненный сланец с содержанием органического вещества 28—29%. Повышение пропускной способности агрегата возмещает некоторое уменьшение технического выхода смолы и газа.

Данные по ситовому составу сланца для одной из действующих установок приведены в таблице 1.

Таблица 1

Ситовый состав технологического сланца

Наименование агрегатов	Выход классов крупности (мм), вес. %					
	более 150	150— —100	100— —60	60— —38	38—22	22—0
Туннельная печь	—	14,8	38,4	16,8	14,8	15,2
Шахтный генератор	0,2	2,6	24,8	24,7	36,1	11,6

Выход золы зависит от качества исходного сырья и колеблется в пределах 60—65% (на сухой сланец). Содержание органической массы в золе (недожог) составляет 4—6% на сухую массу, влажность золы в результате мокрого удаления достигает 30—33%. Степень разложения карбонатов, входящих в состав минеральной части сланца, составляет около 50%.

5. Методы переработки мелкозернистого сланца

В последние годы в Советском Союзе и за границей производится разработка и опытная проверка высокопроизводительных методов термической переработки мелкозернистого сланца. Большая поверхность тонкодисперсного материала способствует значительному улучшению условий теплообмена и интенсификации процесса переработки.

По литературным данным (8,9) известны различные схемы установок для «безостаточной» переработки сланцевой мелочи в кипящем слое. Наиболее рациональная из них предусматривает раздельное ведение процессов полукоксования и дожига полукокса в реакторе и топке с кипящим слоем. Следует полагать, что твердый остаток — зола — практически не содержит органической части.

По сообщению А. Я. Аарна и др. (1) в настоящее время разрабатывается метод термической переработки сланцевой мелочи с

применением твердого теплоносителя — нагретой золы исходного сланца. Полукокс сжигается в специальной топке. Благодаря малым размерам частиц полукокса, органическая часть его выжигается в топке полностью. Зола является хорошим сырьем для производства строительных материалов.

В заключение следует упомянуть о возможности ведения процесса переработки прибалтийских сланцев с применением обогащенного кислородом дутья и жидкого шлакоудаления (А. С. Синельников, Диссертация, Ленинград, 1938 г.). Проведенные опыты с гдовским сланцем показали возможность получения гранулированного шлака — хорошего сырья для производства портландцемента.

*Институт химии
Академии наук Эстонской ССР*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Аарна, К. Каск, А. Рейер, J. Öpik, Põlevkivi, Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn 1954.
2. И. М. Артюхов, Пути улучшения работы сланцевого газогенератора, «За экономию топлива», т. 8, № 11, 1951.
3. М. Я. Губергриц, О размерной характеристике кускового сланца, Известия АН ЭССР, т. II, № 3, 1953.
4. В. И. Жунко, Горючие газы из прибалтийских сланцев, Гостоптехиздат, 1948.
5. Н. И. Зеленин, Сланцевое жидкое топливо, Гостоптехиздат, 1948.
6. А. Т. Кыльль, Обзор развития и современного состояния сланцевой промышленности в Эстонской ССР. Энергетическое совещание по горючим сланцам Эстонской ССР 28—30 октября 1946 г. ГИЗ «Научная литература», Тарту, 1948.
7. А. Пегушин, За лучшее использование горючих сланцев при их переработке, «Советская Эстония», 27 октября 1954 г.
8. H. Blanding, B. Roetheli, Retorting Oil Shale by Fluidised-Solids Technique, Oil & Gas J., Vol. 45, No 11, 1947.
9. C. C. Hall, L. J. Jolley, The Fluidised-Solids Technique and its Industrial Applications, Petroleum, Vol. XIII, No 9, 1950.

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ОТХОДЫ ПРИ СЖИГАНИИ СЛАНЦА

Х. К. ТРУУ

В директивах XIX съезда КПСС принято решение увеличить в Эстонской ССР в течение пятой пятилетки (с 1951 по 1955 г.) выработку электрической энергии в 2—2,5 раза. В связи с тем, что Эстонская ССР является энергетическим районом с выработкой электрической энергии главным образом на базе горючего сланца, широкое развитие энергетического хозяйства нашей республики обуславливает сжигание названного местного топлива в больших количествах. Весьма существенно при этом отметить, что химический и минеральный состав неорганической части многозольного топлива сланца-кукерсита и другие его свойства обязывают нас рассматривать процесс сжигания сланца как комплексный топочный процесс с одновременной термической переработкой неорганической части сланца. Ниже рассматривается принцип рационального сжигания сланца и результаты сжигания сланца-кукерсита в лабораторной топке способом, при котором учитываются оптимальные условия термического преобразования неорганической части топлива в строительное вяжущее. Также рассматриваются режимы работы существующих топок на сланце-кукерсите.

Некоторые основы и характеристики оптимальных условий термического преобразования неорганической части сланца-кукерсита дал Я. Я. Ансо (1). Исследование процессов минералообразования, протекающих при нагревании сланцевой смолы, провел Н. Л. Дилакторский*. Важным результатом этих исследований следует считать установленную необходимость определенного времени пребывания неорганической части сланца при температурах от 850 до 1000°. Существенно также то, что при температуре 1150° начинается уже интенсивное образование гидравлически инертных соединений, ведущее к значительной потере вяжущих свойств золы.

Автор (2) показал, что проблема рационального сжигания сланца удачно разрешается по принципу сочетания процесса термической подготовки этого топлива с процессом дожигания продуктов термического преобразования. При этом должны быть учтены оптимальные условия термического преобразования неорганической части топлива в строительное вяжущее. На этих осно-

* См. стр. 31.

вах Институт энергетики Академии наук Эстонской ССР в 1950 году разработал конструкцию лабораторной опытной топки с кипящим слоем, производительностью 125 000 ккал/ч. В 1951 году и в последующие годы при консультативном содействии членов-корреспондентов Академии наук Союза ССР М. А. Стириковича и Л. Н. Хитрина (Энергетический институт АН СССР) были проведены многочисленные опыты, подтвердившие целесообразность сжигания сланца-кукерсита вышеназванным образом.

Лабораторная опытная топка с кипящим слоем состояла из двух цилиндрических камер, из которых нижняя являлась первой ступенью, а верхняя — второй ступенью топki (рис. 1). В первой

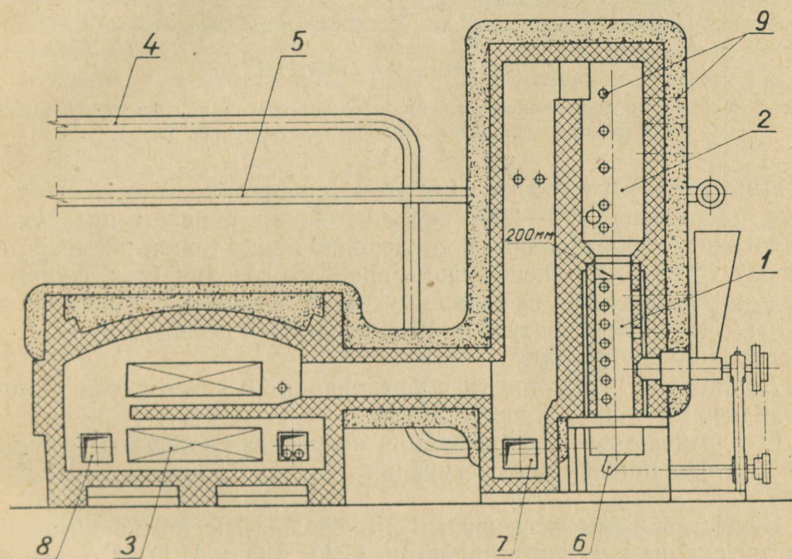


Рис. 1. Схема лабораторной опытной топki с кипящим слоем. 1 — газогенератор с кипящим слоем — первая ступень топki; 2 — камера дожига газа и кокса-уноса — вторая ступень топki; 3 — водоподогреватель; 4 — воздухопровод первичного воздуха; 5 — воздухопровод вторичного воздуха; 6 — лючки для забора золы; 7 — место забора летучей золы I; 8 — место забора летучей золы II; 9 — измерительные точки.

ступени топki протекает термическая подготовка топлива с частичным выгоранием органического вещества (в количестве 15—30% и более). Основная часть выделения летучих веществ с некоторым их сгоранием, а также горение частиц кокса при постепенном убывании содержания кислорода, возрастании количества углекислоты, горючих газов и температуры процесса до максимального значения происходят непосредственно под дутьевой решеткой (рис. 2). Ввиду многократной рециркуляции основной массы топлива в пределах первой ступени топki, теплотворность «рабочей массы» равнялась 600—1100 ккал/кг, в зависимости от

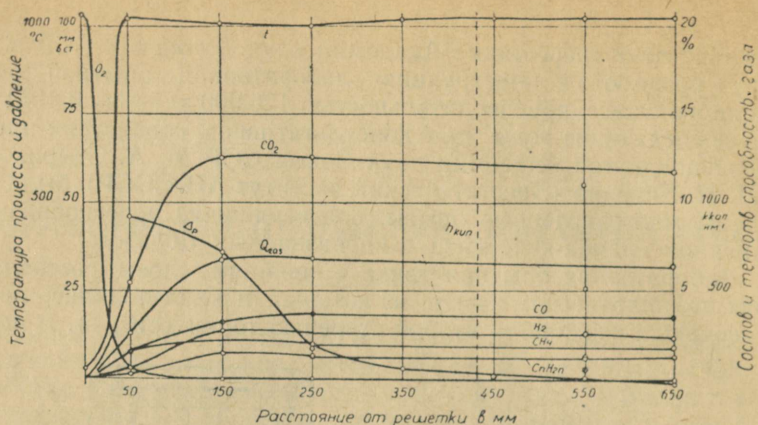


Рис. 2. Характеристики процесса газообразования из сланца-кукерсита в газогенераторе с кипящим слоем (по опытам Х. К. Труу).

режима работы установки. При этом теплотворность свежего топлива равнялась 2700—2800 ккал/кг. Таким образом предотвращалось шлакообразование в кислородной зоне топки, несмотря на высокую степень интенсификации процесса горения (так, скорость воздуха на выходе из сопел дутьевой решетки доходила до 100 м/сек.). Температура в первой ступени топки держалась в пределах от 700 до 1000°.

Дожигание продуктов газообразования и кокса-уноса осуществлялось во второй ступени топки.

О термическом преобразовании неорганической части сланца-кукерсита в процессе его сжигания надлежит отметить следующее.

Существенными негорючими минеральными компонентами в составе сланца-кукерсита являются CaO , SiO_2 и Al_2O_3 . По степени разложения карбонатов при сжигании сланца-кукерсита в лабораторной топке можем отметить три зоны (табл. 1).

Таблица 1
Степень разложения карбонатов в процессе горения сланца-кукерсита в лабораторной топке с кипящим слоем

Анализируемый продукт	CO_2 %	XCO_2
Неорганическая часть мелкого сланца-кукерсита	25 (23—27)	0
Зола из генератора (I зона)	17,5 (15—20)	0,36 (0,47—0,25)
Генераторный кокс (II зона)	9 (7—12)	0,67 (0,76—0,54)
Летучая зола (III зона)	2,8 (1,1—4,5)	0,91 (0,97—0,86)

Незначительная степень разложения CaCO_3 в золе из генератора вызвана недостаточностью времени пребывания (10—12 минут) фракции данной крупности в зоне с температурой порядка $800\text{--}900^\circ$. Так, например, при X_{CO_2} , равном для средней пробы золы из генератора 0,36, в этой золе X_{CO_2} для фракции 0,07 мм равнялось 0,77, для фракции 0,7 — 1,4 мм — 0,61 и для фракции 1,4 — 2,1 мм — 0,34. Летучая зола имела высокую степень разложения CaCO_3 , равную в среднем для серии опытов 0,91, что объясняется ее дополнительным обжигом в камере дожигания при температуре порядка 1100° и отсутствием в ее составе крупных фракций.

Исследование свойств золы от сжигания мелкого сланца в опытной установке было проведено Институтом строительства и строительных материалов Академии наук Эстонской ССР. Результаты опытов 1951 года приведены в таблице 2 и

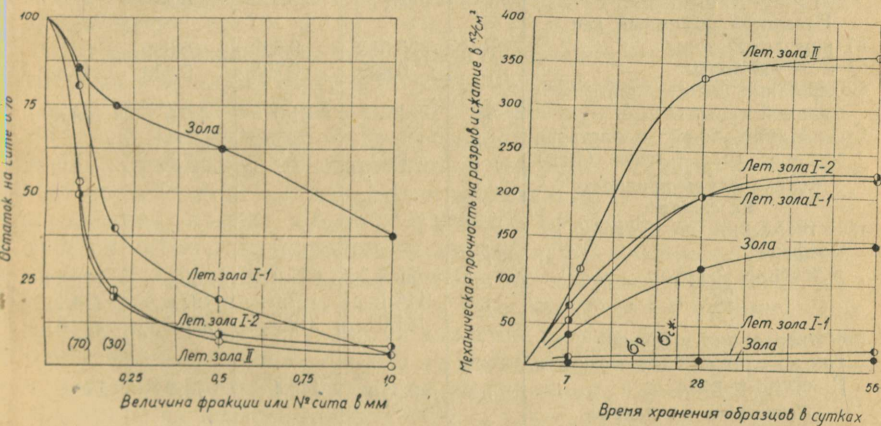


Рис. 3. Гранулометрический состав золы и механическая прочность кубиков из размолотой золы от сжигания сланца-кукерсита в лабораторной опытной топке с кипящим слоем при температуре процесса в газогенераторе 800° и в камере дожигания 1100° .

на рис. 3. Следует отметить, что летучая зола, а также и зола из генератора могут применяться в качестве строительного вяжущего. Размолотая летучая зола I величиной фракции до 1,5 мм дала строительное вяжущее марки «198»; более мелкая летучая зола II, подвергнутая быстрому охлаждению ниже 400° , дала марку «333», а зола из генератора — лишь марку «116». То, что зола из генератора значительно уступает по механической прочности летучей золе, объясняется незначительной степенью разложения карбонатов.

Рабочая масса мелкого сланца-кукерсита содержит приблизительно 38% минеральной золы. При сжигании этого сланца в топ-

Таблица 2

Физические и механические свойства золы от сжигания мелкого сланца-кукери-
сита в лабораторной топке с кипящим слоем

	Единица измерения	Дата взятия пробы			
		Зола		Летучая зола I	
		21. III 1951	1. III 1951	21. III 1951	21. III 1951
Фракционный состав					
а) немолотой золы					
свыше 1 мм	%	37,6	3,2	5,3	3,4
1—0,5 "	"	24,7	16,4	3,9	3,8
0,5—0,2 "	"	12,5	20,3	10,7	13,7
0,2—0,088 "	"	10,7	41,1	29,9	31,1
— 0,088 "	"	14,5	19,0	50,2	48,0
б) молотой золы					
свыше 0,2 мм	"	нет	0,4	0,4	нет
0,2—0,088 "	"	0,8	1,2	1,2	0,4
— 0,088 "	"	99,2	98,4	98,4	99,6
Насыпной объемный вес					
а) немолотой золы	кг/дм ³	0,613	0,629	0,589	0,560
б) молотой золы	"	0,809	0,798	0,839	0,831
Содержание воды в тесте нормальной густоты					
Содержание воды в растворе состава: зола + песок (1:3)	%	41,6	31,0	30,0	28,8
Механическая прочность на сжатие					
при твердении во влажной атмосфере	кг/см ²				
в течение 7 суток	"	35,3	71,0	53,6	113,4*
" 28 "	"	116,1	197,6	197,6	333,1
" 56 "	"	141,6	219,5	225,2	359,3
при твердении в течение 7 суток во влажной атмосфере и 21 суток в воде	"	разруш.	144,4	74,9	288,5
Прочность на разрыв					
при твердении во влажной атмосфере					
в течение 7 суток	"	7,45	10,84	—	—
" 28 "	"	12,96	—	17,21	—
" 56 "	"	15,72	24,31	18,11	—
Продолжительность схватывания					
Начало	час.,				
Конец	мин.,	3,20	0,35	4,25	3,10
	"	30,00	1,25	9,00	7,15
Равномерность изменения объема					
при твердении в течение:					
28 суток во влажной атмосфере		равн.	равн.	равн.	равн.
7 суток во влажной атмосфере и 21 суток в воде		неравн.	неравн.	неравн.	неравн.
10 суток во влажной атмосфере и 18 суток в воде		неравн.	равн.	равн.	неравн.

* Этот показатель прочности на сжатие относится к нормальной пробе, через 9 суток твердения во влажной атмосфере.

ке с кипящим слоем можно получить около 60% летучей золы и около 40% золы из генератора. В таком случае будем иметь дополнительную продукцию в виде ценного вяжущего вещества для строительства, стоимостью примерно 50 рублей за одну тонну. Годовая продукция строительного вяжущего с котельной установки паропроизводительностью, например, 50 т/ч будет равна примерно 30 000 т стоимостью порядка 4 млн. рублей.

Разработка и внедрение двухступенчатой топки для сжигания мелкого сланца является одним из вариантов безостаточного энергетического использования сланца-кукерсита.

Наряду с приведенным выше способом сжигания сланца-кукерсита с преобразованием неорганической части топлива в строительное вяжущее, возможно сжигание сланца с жидким шлакоудалением. Этот способ тоже будет представлять большой интерес для развития народного хозяйства, так как жидкий шлак от сжигания сланца-кукерсита с успехом может быть переработан в шлаковую вату*.

Невысокое качество золы сланца-кукерсита из промышленных слоевых топков объясняется отсутствием должного режима работы топки, рассчитанного на возможно полное преобразование неорганической части сланца в строительное вяжущее. Это требование должно соблюдаться независимо от нагрузки установки. Частичное оплавление золы, достигающее зачастую до 25—30% общего ее количества, низкая степень разложения карбонатов кальция (70% и ниже), неоднородность минерального состава золы и т. д. приводят к тому, что размолотая зола из слоевых топков представляет собой строительное вяжущее типа кукермита с механической прочностью лишь 50 кг/см². Оплавление частиц золы вызвано воздействием надслойного факела (с температурой до 1300°) на слой с незначительным эффектом перемешивания. Температура слоя, как правило, не превышает 1100°.

Значительное повышение степени разложения карбонатов кальция (до 85% и более) и механической прочности сланцезольного вяжущего (до 200 кг/см²) может быть достигнуто при сжигании сланца в существующих слоевых топках путем усреднения температуры процесса горения, увеличением времени пребывания топлива в зоне высоких температур, увеличением эффекта перемешивания и разрыхления слоя, а также интенсификацией его продувания и сокращением времени охлаждения золы. Таким образом, в современной технике сжигания твердых топлив в слое имеются различные приемы и способы, способствующие повышению эффективности термического преобразования неорганической части сланца в процессе его сжигания в качественное строительное вяжущее. Хорошее усреднение температуры в топочной камере существенно с точки зрения равномерности прогрева частиц

* Не меньший интерес представляет возможность получения литого камня и пеношлаковых изделий (примеч. редактора).

топлива и эффективности использования времени пребывания частиц в топке. Это достигается путем рециркуляции топочных газов, применением комбинированного факельно-слоевого процесса с подводом в камеру слоевой топки факела от сжигания газового, жидкого или пылевидного топлива. Подача пылевидного топлива в камеру топки может осуществляться за счет отцеивания мелких фракций из подаваемого на решетку топлива. Эффективным средством для усреднения температурного поля в слое топлива является интенсификация его перемешивания, повышение толщины слоя и позонная подача воздушного дутья с различной температурой.

Увеличение времени пребывания частиц топлива в зоне высоких температур достигается повышением толщины слоя и снижением скорости его переталкивания.

Из существующих топочных устройств со слоевым способом сжигания мелкого сланца больше других удовлетворяют условиям оптимальности термического преобразования неорганической части в строительное вяжущее топки с встречнодвижущимися рядами колосников конструкции Таллинского машиностроительного завода с дополнениями в части профиля камеры топки, как это осуществлено на ГРЭС-4 «Эстонэнерго». Подробное изучение режима работы таких топок будет способствовать не только улучшению вяжущих свойств золы, но поведет и к повышению производительности установок. Имея в виду, что в ближайшие годы предстоит реконструкция многих топочных устройств на мелком сланце, при разработке проектов этих реконструкций рекомендуется учесть упомянутые приемы и способы, ведущие к повышению качества золы.

Зола от сжигания сланца-кукерсита в виде пыли в шахтно-мельничной топке представляет собой более качественное сырье для строительства, чем зола от сжигания мелкого сланца в слоевых топках, и имеет механическую прочность до 150 кг/см^2 . Таким образом, при сжигании пылевидного сланца в большей мере соблюдаются оптимальные условия преобразования неорганической части сланца, чем при сжигании сланца в слое. Однако и в данном случае имеются значительные перепады температур в камере топки — от 870 до 1350° . Температура в ядре факела при этом порядка 1350° , т. е. выше температуры начала плавления золы сланца-кукерсита, что и вызывает оплавление золы (рис. 4).

Повышение качества пылевидной сланцевой золы возможно путем реконструкции шахтно-мельничных топок, например усреднением температур в камере топки путем применения способа термической подготовки пыли и завихрения потока газов в топочной камере.

В дальнейшем следует расширить и углубить работы по исследованию оптимальных условий процесса термического преобразования неорганической части сланца в лабораторных и промышлен-

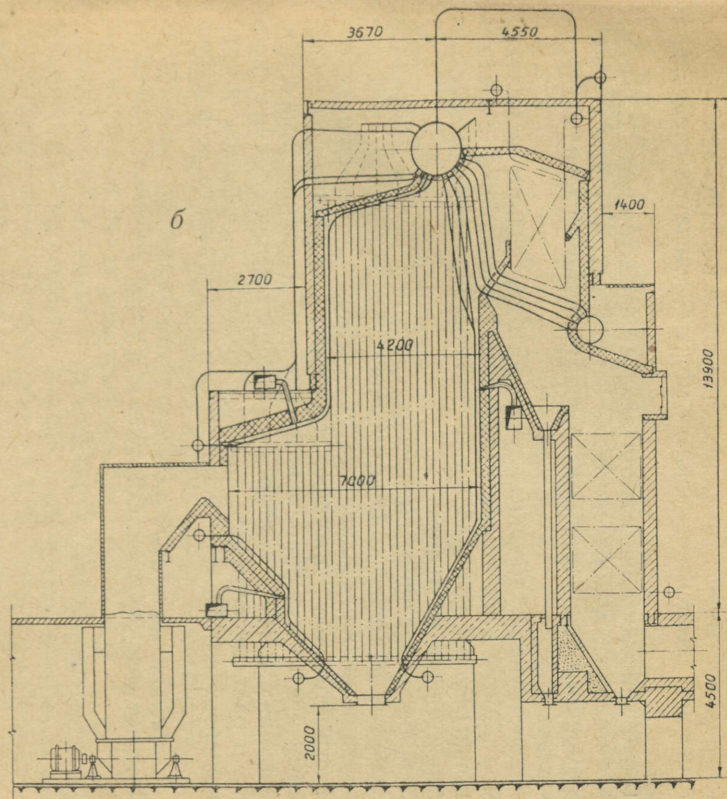
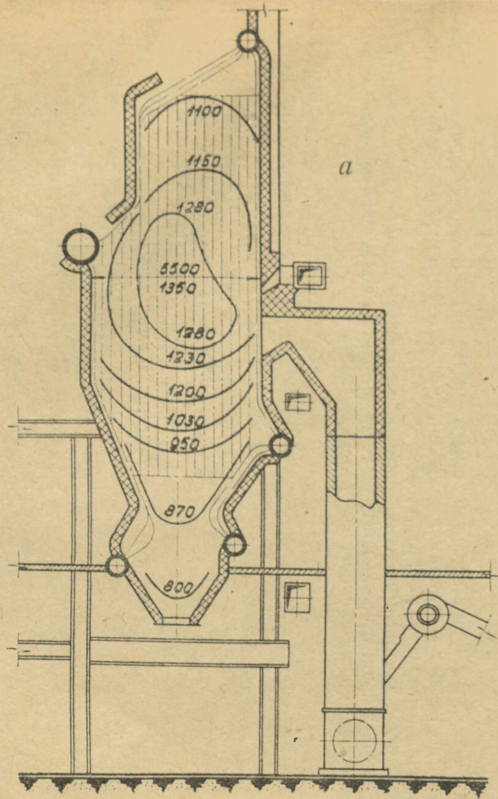


Рис. 4. Схемы *a* — обычной шахтно-мельничной топки с ориентировочными эпюрами температур при производительности 75% и *б* — топки с усредненным термическим режимом работы на сланце-кукерсите (проект).

ных топках, совершенствуя при этом существующие конструкции топок и разрабатывая новые, рациональные конструкции.

На основе вышеизложенного можем сделать следующие выводы:

1. Топки для сжигания сланца следует проектировать с учетом полного сгорания органического вещества и оптимальных условий одновременного преобразования неорганической части в строительное вяжущее.

2. Реконструкцию топочных устройств на сланце и наладку режимов работы этих топок необходимо производить с учетом оптимальных условий преобразования неорганической части сланца в строительное вяжущее.

3. В целях скорейшего внедрения сжигания мелкого сланца в двухступенчатой топке с кипящим слоем, весьма перспективной с точки зрения преобразования неорганической части сланца-кукерита в строительное вяжущее, Проектному и научно-исследовательскому институту Министерства местной и сланце-химической промышленности ЭССР необходимо ускорить выпуск технического проекта и рабочих чертежей опытной топки, а энергохозяйству «Эстонэнерго» в 1955 году соорудить топку и ввести ее в строй.

*Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР*

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Я. Ансо, Вяжущие свойства золы горючего сланца. Энергетическое совещание по горючим сланцам Эстонской ССР 28—30 октября 1946 г. ГИЗ «Научная литература», Тарту, 1948.
2. Х. К. Труу, Теория и практика сжигания горючего сланца, Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского, Москва, 1953.

К ВОПРОСУ О ПРОЦЕССАХ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ НАГРЕВАНИИ СЛАНЦЕВОЙ ЗОЛЫ И ТВЕРДЕНИИ ГИДРАТИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ОБЖИГА

Н. Л. ДИЛАКТОРСКИЙ и Е. А. ГАЛИБИНА

Вязущие свойства сланцевых зол, получаемых с промышленных установок, непостоянны. Они определяются составом и количеством активных «клинкерных» минералов, возникающих в процессе термической обработки сланца.

В отличие от портландцементного клинкера, для которого процессы минералообразования хорошо изучены, вопросы, связанные с возникновением новообразований при нагревании сланцевой золы, в литературе освещены недостаточно (1, 3, 4).

Для лучшего понимания хода процессов минералообразования в зависимости от температуры и времени ее воздействия на сланцевую золу, имеющих помимо научного интереса большое практическое значение, мы поставили ряд опытов, результаты которых и служат предметом дальнейшего изложения.

Химические анализы *, оптические исследования и определения механической прочности образцов проводилось обычными методами, принятыми в лабораториях СССР. Термограммы получались методом, описанным ранее одним из авторов данной работы (2). Изотермическое нагревание проб осуществлялось в нихромовых электрических печах с автоматическим терморегулированием при помощи контактного гальванометра. Для измерения температуры были использованы хромель-алюмелевые термопары и милливольтметры типа МП-28. Взвешивание проб, нагревавшихся в печи, производилось при помощи аналитических или торсионных весов.

Исходным сырьем для наших исследований служил горючий сланец II сорта, взятый из шахты «Кява-2».

Сланец, после отбора средней пробы и предварительного дробления, измельчался на шаровой мельнице до полного прохождения через сито с диаметром ячеек 0,2 мм (900 отв/см²).

Химические составы средней пробы сланца, золы, карбонатной и «глинистой» составляющей приведены в таблице 1.

Минералогический состав неорганической части сланца определялся после удаления карбонатов слабой соляной кислотой и отделения керогена бромформом. Исследования проводились в иммерсионных средах. В составе минеральной части сланца преобладают кварц, слюды, гидрослюды и марказит.

* Все химические анализы выполнены О. М. Раудсеппом.

Таблица 1

Наименование пробы	Химический состав в %									
	SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	CaO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	CO ₂	S	H ₂ O + органич. вещества	Сумма
Сланец II сорта из шахты «Кява-2»	13,40	3,03	3,09	19,14	1,54	1,37	15,31	2,10	41,14	100,12
То же, органические вещества удалены нагреванием при 450°	24,08	5,10	5,85	33,01	2,20	2,78	22,83	4,18	—	100,03
Теоретический состав карбонатной составляющей сланца	—	—	—	52,5	4,3	—	43,2	—	—	100,0
Теоретический состав «глинистой» составляющей сланца	57,0	12,9	13,2	2,1	—	5,8	—	9,0	—	100,0

Кварц представлен мелкими, угловатыми обломками, размером 0,06—0,02 мм и менее. Он часто покрыт чешуйками вторичных слюд, иногда содержит включения кристаллов (рутил, циркон), жидкостей и газов.

Мусковит — обычного вида прозрачные листочки с отрицательным углом оптических осей порядка 35—40°. Слабая дисперсия по правилу $\rho > \nu$, показатель светопреломления $N_p \sim 1,55$.

Мельчайшие чешуйки гидрослюд обладают положительным удлинением, отрицательным знаком малого угла оптических осей и показателем светопреломления $n_g \sim 1,58$.

Ортоклаз встречается в виде сероватых, замутненных зерен с нормальной оптической характеристикой ($N_{ep} \sim 1,525$), на поверхности которых иногда хорошо заметна тончайшая оторочка гидрослюдистого характера. Реже чешуйки гидрослюды располагаются на поверхности в ориентированном по оси n_g' направлении.

В очень небольшом количестве обнаружены идиоморфные кристаллы размером до 0,05 мм, с большим, положительным углом оптических осей и несколько повышенным, по сравнению с ортоклазом, светопреломлением ($n_m \sim 1,531$). Кристаллографические очертания этих мельчайших (0,02—0,04 мм) кристалликов явно полевошпатовые. Хорошо устанавливаются грани (001), (010), (110) и другие. На основании этих признаков мы относим эти кристаллы к группе калинатровых полевых шпатов, возможно аутигенного происхождения.

Кислые плагиоклазы встречаются в очень малом количестве; они имеют вид обломков кристаллов с хорошо выраженным тонкодвойниковым строением.

Выделения двусернистого железа, до сего времени определявшиеся как пирит, при более детальном исследовании оказались марказитом. Удлиненные призматические кристаллы или сростки кристаллов марказита при рассмотрении их в отраженном свете под микроскопом обнаруживают поляризацию света, отражающегося от граней, расположенных параллельно столику микроскопа. Часть марказита представлена мелкими шариками с неровной поверхностью.

Кроме перечисленных выше минералов, в виде немногих или единичных зерен были определены: циркон, турмалин (зеленый, коричневый и полихромный), лейкоксен, гранат (окрашенный в зеленоватых тонах), глауконит, рутил (обломки кристаллов и колечатых двойников), анатаз (мелкие идиоморфные призматические кристаллы) и титанит.

Рассмотрение состава минеральной части сланца позволяет сделать заключение о кластическом происхождении количественно преобладающей группы минералов (кварц, слюды, полевые шпаты, минералы тяжелой фракции) и считать аутигенными остальные (марказит, часть гидрослюды и, возможно, идиоморфные кристаллы калинатовых полевых шпатов).

Пересчет химического состава кукурсита на составляющие его органическую и минеральную части (таблица 2) позволяет судить о количественных соотношениях минералов.

Приведенный в таблице расчет носит лишь приблизительный характер. Вся сера, за исключением органической (0,7%), пересчитана на марказит. Карбонаты подсчитаны по CaO и MgO, с добавкой недостающих 1,2% CO₂. Окись калия распределена в отношении 1:2 между ортоклазом и гидрослюдами. Кварц определен из остатка после образования силикатов, вода — по содержанию ее в гидрослюдах и лимоните (прямое определение ее невозможно). Весовой состав минеральной составляющей (без карбонатов) может быть представлен в следующем виде (в %):

Кварц	39
Гидрослюды	30
Ортоклаз	12
Марказит	12
Лимонит	7

Изображенная на рис. 1 термограмма дает представление о термических процессах, протекающих при нагревании сланца. После отделения воды и окклюдированных газов (первый эндотермический эффект, оканчивающийся при 120°), в интервале температур 180—460° идут процессы, связанные с разложением керогена и образованием остаточного кокса. Дальнейшие эффекты обусловлены изменениями в неорганической части сланца, за

Наименование компонентов	Весовой процент	Молекулярные количества	Органическое вещество		Марказит	
			молек. коллич.	в-со-вой %	молек. коллич.	весо-вой %
SiO ₂	13,4	224	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	3,0	29	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	3,1	19	—	—	(11)	(1,8)
CaO	19,1	341	—	—	22	1,3
MgO	1,5	37	—	—	—	—
K ₂ O+Na ₂ O	1,4	15	—	—	—	—
CO ₂	15,3	350	—	—	—	—
H ₂ O	0,9	52	—	—	—	—
SO ₃	2,1	66	—	(0,7)	44	1,4
Органическое вещество	40,2	—	—	40,2	—	—
	100,0			40,2	—	2,7

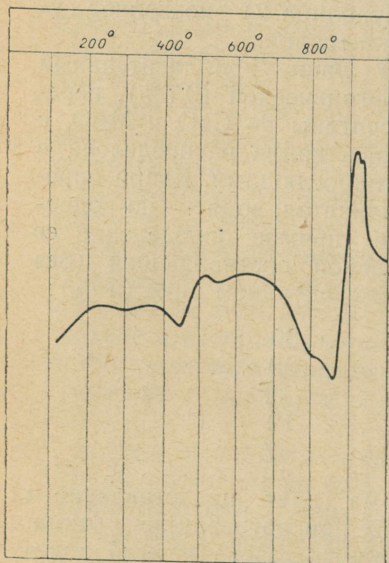


Рис. 1. Термограмма кукурсита.

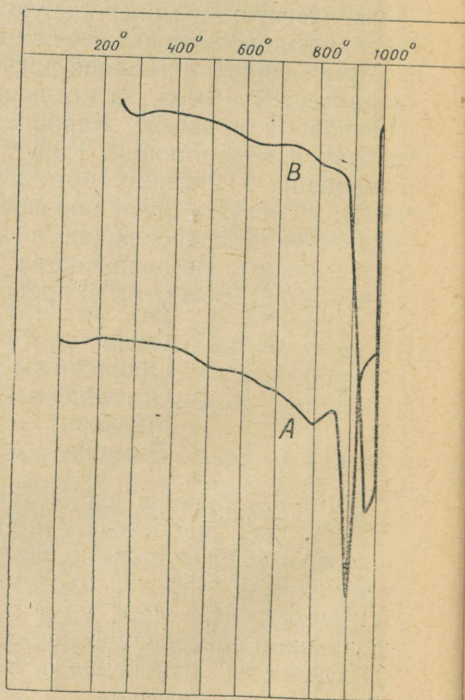


Рис. 2. Термограммы золы, полученной нагреванием кукурсита при 450°.

Таблица 2

Лимонит		Ортоклаз		Гидрослюды		Карбонаты		Кварц		+
МОЛЕК. КОЛИЧ.	весо-вой %	МОЛЕК. КОЛИЧ.	весо-вой %	МОЛЕК. КОЛИЧ.	весо-вой %	МОЛЕК. КОЛИЧ.	весо-вой %	МОЛЕК. КОЛИЧ.	весо-вой %	
—	—	30	1,8	48	2,9	—	—	146	8,8	—1,2
8	1,2	5	0,5	24	2,4	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	341	19,1	—	—	
—	—	—	—	—	—	37	1,5	—	—	
—	—	5	0,5	10	1,0	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	350	15,3	—	—	
4	0,4	—	—	28	0,5	(+28)	(+1,2)	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	1,6	—	2,8	—	6,8	—	37,1	—	8,8	+1,2

исключением мощной экзотермии выше 900° , вызванной выгоранием кокса. При $530-550^{\circ}$ происходит выделение воды из глинистой части сланца (гидрослюды), что отмечается появлением на термограмме небольшой эндотермической остановки. Эндотермия выше 700° связана с разложением карбонатной составляющей сланца. Более четкое представление о высокотемпературных процессах дают термограммы зол, которые не содержат органической части и получены длительным нагреванием сланца при температуре 450° . Термограммы этих зол показаны на рис. 2. Здесь совершенно отчетливо удается установить очень раннее наступление процесса диссоциации карбонатов (около 700°), наличие экзотермического перегиба (кривая В) или «замедления» на левой ветви этого большого эффекта (кривая А); можно определить сильный экзотермический эффект, наступающий сразу же по окончании диссоциации карбонатов, и небольшой экзотермический пик при температуре выше 1000° .

Для выяснения природы и особенностей этих эффектов были проведены химические анализы проб золы, нагревавшихся в таком же металлическом блоке, какие применялись для получения термограммы. Оба блока, поставленные один под другим, нагревались одновременно в печи. По достижении в контрольном блоке требуемой температуры из верхнего блока бралась проба золы, быстро охлаждалась и передавалась на определение содержания в ней CO_2 , связанной и свободной извести, кремнезема, перешед-

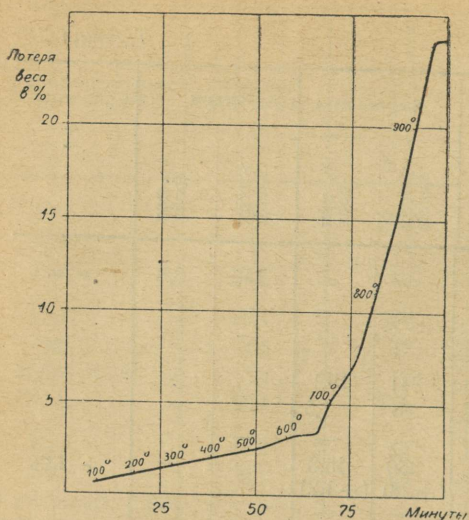


Рис. 3. Кривая потерь веса при изотермическом нагревании золы кукурсита.

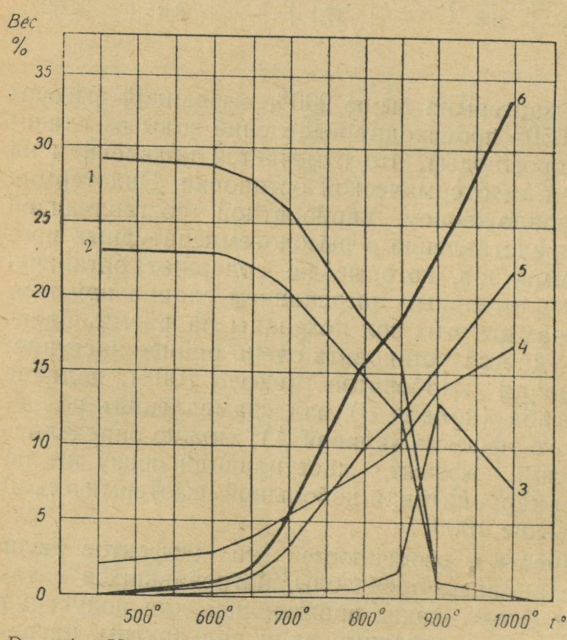
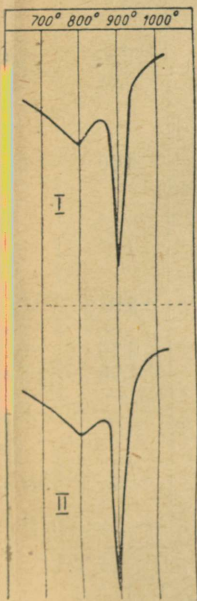


Рис. 4. Изменение состава сланцевой золы при нагревании со скоростью 10° в минуту. 1 — CaO (в карбонате); 2 — CO₂; 3 — CaO свободная; 4 — SiO₂ растворимый; 5 — CaO связанная; 6 — 2CaO·SiO₂.

шего в растворимое состояние. В параллельно поставленных опытах производилось непрерывное взвешивание пробы во время нагревания, позволившее установить непрерывность выделения углекислоты при нагревании (рис. 3). Количество новообразовавшегося $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ при любой из температур выше 600° может быть подсчитано по содержанию кремнезема, вошедшего в растворимые соединения, и по вычисленному количеству связанной окиси кальция. Результаты подобных расчетов приведены в графическом изображении на рис. 4.

Внимательное рассмотрение диаграммы на рис. 4 дает возможность установить, что до начала интенсивной диссоциации CaCO_3 при 850° вся образующаяся свободная известь быстро связывается с имеющимся в золе активным кремнеземом. При температуре от 850 до 900° извести возникает так много, что реакция с SiO_2 не успевает пройти и она (CaO) остается в избытке. Выше 900° количество свободной извести резко падает — с 13 до 7%.

Определение (через каждые 50—100°) количеств разлагающегося карбо-



Расчет теоретической кривой

Δt°	600-700	700-800	800-850	850-900	900-1000
%CO ₂	2,4	5,6	2,6	11,2	0,8
%C ₂ S	4,2	10,7	2,7	5,3	10,3
CaCO ₃ kcal/%	-232	-540	-250	-1080	-76
C ₂ S kcal/%	+79	+208	+50	+102	+200
* $\Delta_{\text{расч}}^{\text{ккал}}/\%$	-153	-332	-200	-978	+124

I теоретическая кривая

II экспериментальная кривая

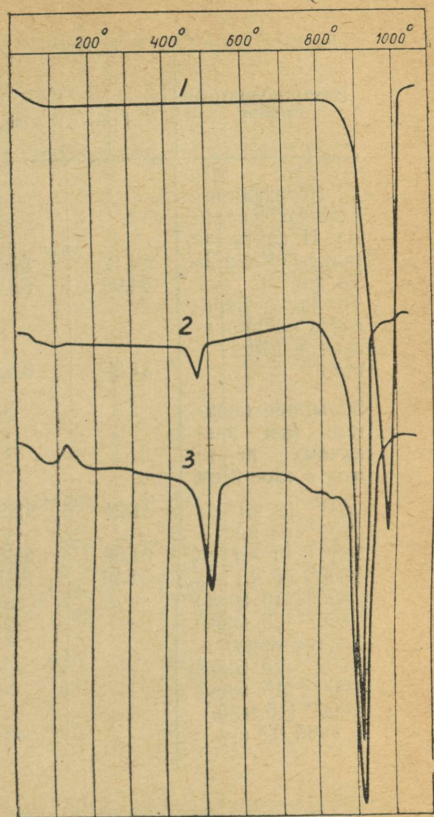


Рис. 5. Экспериментальная и расчетная дифференциальные кривые нагревания сланцевой золы.

Рис. 6. Термограммы смесей CaO, CaCO₃ и SiO₂. 1 — CaCO₃; 2 — CaCO₃-CaO; 3 — CaCO₃-CaO-SiO₂.

ната кальция и возникающего двухкальциевого силиката позволяет вычислить суммарные термические эффекты для каждого из температурных интервалов и построить на основании этих расчетов теоретическую дифференциальную кривую нагревания пробы золы. Эти расчеты, экспериментальная термограмма и вычисленная кривая приведены на рис. 5.

Достаточное для приближенных расчетов сходство обеих кривых является хорошим подтверждением правильности принятых предположений и расчетов и дает полностью ответ на вопрос о причине появления эндотермического перегиба на левой ветви петли диссоциации карбоната кальция. Попутно мы имеем и расшифровку экзотермии, наблюдаемой на термограмме сразу же по окончании диссоциации карбонатов. Она связана с усиленным образованием 2 CaO·SiO₂ в этом температурном интервале. Природа этого процесса подтверждена и другими опытами. На рис. 6

Наименование пробы	Химический						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Неорганическая часть сланца II сорта из шахты «Кява-2»	24,17	5,17	5,87	32,67	2,16	2,32	0,44
То же	24,08	5,10	5,85	33,01	2,20	2,34	0,44
То же, в пересчете на прокаленное вещество	31,27	6,68	7,59	42,28	2,79	3,00	0,58
Золы, обожженные при различных режимах в слое 2 см							
800° (2 ч.)	31,24	6,62	7,42	42,12	2,88	2,98	0,68
900° (2 ч.)	—	—	—	42,66	—	—	—
1000° (2 ч.)	31,98	6,66	7,57	42,95	3,10	2,70	0,46
1000° (4 ч.)	32,16	6,71	7,56	42,91	2,92	2,96	0,54
800° (15 мин.)	—	—	—	42,66	—	—	—
800° (15 мин.) (повторно)	—	—	—	42,66	—	—	—
900° (15 мин.)	—	—	—	42,66	—	—	—
1000° (15 мин.)	—	—	—	42,66	—	—	—
1000° (15 мин.), слой 0,5 см	—	—	—	42,66	—	—	—

приведены термограммы чистого мела и смесей углекислого кальция с окисью кальция и с активным кремнеземом. Только в одном случае, в смеси с SiO₂, наблюдается экзотермия по окончании диссоциации углекислого кальция.

Дальнейшие опыты имели своей целью установить течение процесса минералообразования при иных режимах нагревания золы: в течение 15 минут и 2 часов при температурах 800, 900 и 1000°.

Исходным материалом служил тот же сланец, длительное время нагревавшийся при 400—450° для удаления органической составляющей. Количество свободной извести в прокаленном продукте не превышает 0,05—0,12%, что свидетельствует о том, что карбонаты совершенно не были затронуты разложением. Пробы насыпались в керамический муфель слоем толщиной в 2 см и нагревались в атмосфере воздуха в нихромовой печи с автоматическим терморегулированием.

Одна из дополнительных проб, нагревавшихся при 1000°, была после предварительного растирания отпрессована под давлением 800 атмосфер в кубики размером 2×2×2 см и нагревалась в течение 4 часов. Другая проба, нагревавшаяся 15 минут, была насыпана слоем 0,5 см. Пробы, нагревавшиеся 15 минут, ставились

Таблица 3

Состав в %					CaO _{своб} %	SiO ₂ раствори- мый %	Примечание
CO ₂	SO ₃	S	H ₂ O	Сумма			
22,67	4,48	0,02	0,05	100,02	0,05	—	Анализ произво- дился после выжига- ния орга- нического вещества при 450°C
2,88	4,18	0,01	0,01	101,10	—	—	
—	5,79	0,02	—	100,00	—	—	
1,86	5,67	0,02	нет	101,49	11,99	12,56	
0,48	—	—	"	—	8,18	—	
0,3	5,91	0,01	"	101,64	нет	21,08	
0,40	5,53	0,01	"	101,70	нет	17,37	
19,89	—	—	"	—	0,49	4,56	
19,13	—	—	"	—	0,46	—	
11,18	—	—	"	—	6,21	9,55	
5,37	—	—	"	—	13,20	11,47	
0,52	—	—	"	—	16,51	13,71	

в предварительно разогретую печь, тогда как пробы, обрабаты-
вавшиеся длительное время (2 и 4 часа) нагревались вместе с
печью.

В таблице 3 приводятся результаты химических исследований
обожженных проб и исходного материала, позволяющие сделать
ряд заключений:

1. Количество кремнезема, переходящего в растворимое со-
стояние, т. е. образующего с CaO соединение $2CaO \cdot SiO_2$, возра-
стает с увеличением температуры и времени нагревания пробы
зола.

2. Количество свободной, не вступившей в реакцию, окиси каль-
ция в пробах с 15-минутной выдержкой возрастает до мере повы-
шения температуры обжига зола. Наоборот, в пробах, нагревав-
шихся 2 и 4 часа, количество свободной извести уменьшается и
при температуре 1000° доходит до нуля.

3. Почти вся сера и щелочные металлы (K, Na), даже при че-
тырехчасовом нагревании пробы, остаются в ее составе. Сера, как
показали термографические исследования гидратированных проб
зола, окисляется и образует вместе с окисью кальция ангидрит.
Окислы калия и натрия, легко вымываемые из обожженных зол

дистиллированной водой, либо также образуют сульфаты, либо легко растворимые силикаты.

На рис. 7 мы делаем попытку показать количество возникающего при обжиге золы двухкальциевого силиката. Расчет содержания его в золах произведен по количеству растворимого кремнезема.

К сожалению, из-за недостатка экспериментального материала еще не имеется возможности сделать то же самое в отношении моноалюмината кальция, присутствие которого доказано для зол, нагревавшихся в печи 2 и 4 часа при 1000° .

Проведенные нами термографические исследования обожженных и гидратированных проб золы позволили собрать дополнительный материал не только о минеральном составе, но и о природе процессов твердения зол, нагревавшихся в различных условиях.

Опыты проводились с образцами гидратированных проб после испытания механической прочности на разных сроках твердения.

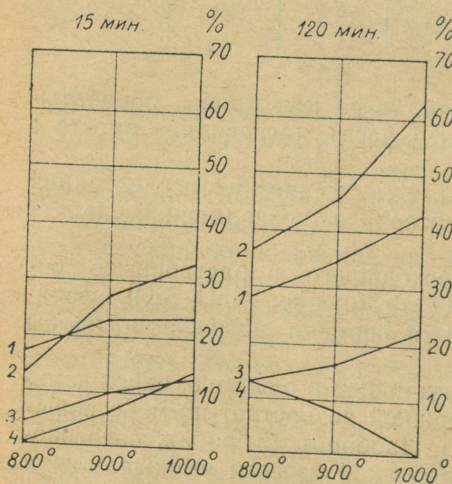


Рис. 7. Изменение состава сланцевой золы при нагревании в течение 15 и 120 минут при различных температурах. 1 — CaO связ. в минералы; 2 — Ca_2SiO_4 ; 3 — SiO_2 растворимый; 4 — CaO свободная.

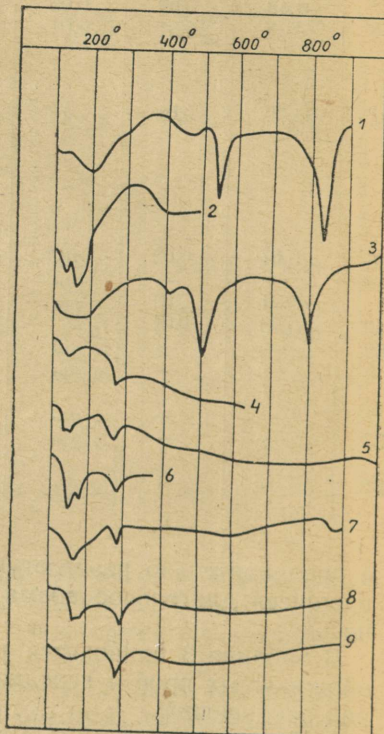


Рис. 8. Термограммы гидратированных сланцевых зол, предварительно обожженных в течение 2 часов. 1 — 800° (2 ч.), 3 дня твердения; 2 — 800° (2 ч.), 7 дней твердения + 2% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 3 — 800° (2 ч.), 28 дней твердения; 4 — 1000° (2 ч.), только затворено; 5 — 1000° (2 ч.) 3 дня твердения; 6 — 1000° (2 ч.), 3 дня твердения + 2,5% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 7 — 1000° (2 ч.), 28 дней твердения; 8 — 1000° (4 ч.), 3 дня твердения; 9 — 1000° (4 ч.), 28 дней твердения.

Материал измельчался в агатовой ступке и просушивался в течение 3 часов в термостате при 100—105°. Для большей части проб одновременно определялось содержание CO_2 и свободной окиси кальция.

Рассмотрение термограмм гидратированных проб золы (рис. 8), обожженной в течение 2 часов при 800 и 1000°, показывает, что от начала и до конца твердения одной и той же пробы фазовый состав остается постоянным, изменяются лишь количественные соотношения гидратированных соединений. С другой стороны, в отношении зол, обожженных при разных температурах, можно говорить и о различии минерального состава. В золе, обработывавшейся при температуре 800°, в первые дни твердения четко заметны только эффекты, обусловленные разложением карбоната кальция, дегидратацией гидрата окиси кальция, и эффект при 150—195°. Позже становится заметным эффект дегидратации гидрата окиси магния (350—410°). Первый эндотермический эффект (150—195°) является сложным. Появление его зависит, по крайней мере, от трех причин: от удаления остатков гигроскопической воды, остаточной воды гипса и воды из гидросиликатов кальция (вероятней всего состава $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Судя по размытому характеру первой эндотермической остановки и увеличению ее площади при одновременном уменьшении площади эффекта дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а также по обнаруженному при помощи химических анализов уменьшению количества окиси кальция в процессе твердения (таблица 4), можно утверждать о постепенном, медленном нарастании содержания гидросиликата кальция (примерно на 10—12%), образующегося в твердеющей золе за счет реакции между SiO_2 и CaO .

Таблица 4

Сроки твердения золы, обожженной при 800° (2 ч.)	Содержание CaO своб. %	Содержание CO_2 %	% CaO , карбонизовавшейся за период твердения	% CaO , вступившей в реакцию с SiO_2 за время твердения
Сразу после затвердения	11,99	1,86	0,18	1,14
3 дня	10,67	2,00	—	—
7 дней	9,66	не опред.	—	—
28 „	не опред.	„	—	—
3 месяца	5,48	2,87	1,28	5,23

Попутно следует отметить и процесс связывания окиси кальция с атмосферной CO_2 . Количество новообразовавшегося карбоната кальция достигает 2,50% (1,10% CO_2).

Термограммы зол, нагревавшихся при 1000° два и четыре часа, обнаруживают один новый, ранее не проявлявшийся эндотермиче-

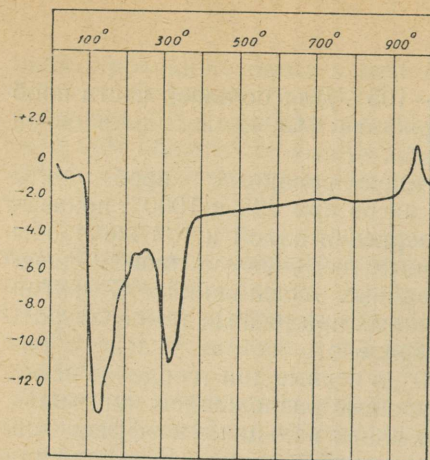


Рис. 9. Термограмма гидратированного моноалюмината кальция.

ский эффект в интервале температур 240—290° (рис. 8). Предполагая, что этот эффект может быть вызван дегидратацией водного моноалюмината кальция, мы термографировали это соединение, взятое в чистом виде. Наши предположения полностью оправдались (рис. 9). Гидратированный моноалюминат кальция дает на термограмме четкий эндотермический эффект в температурном интервале 240—310°. Просмотр обожженной золы под микроскопом также показал наличие образований $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ с показателем светопреломления $N_{cp} = 1,655 \pm 0,010$.

Термограммы зол, обжигавшихся в течение 15 минут, носят совершенно иной характер (рис. 10). Первый эндотермический эффект с максимумом отклонения, заметно усиливающимся при

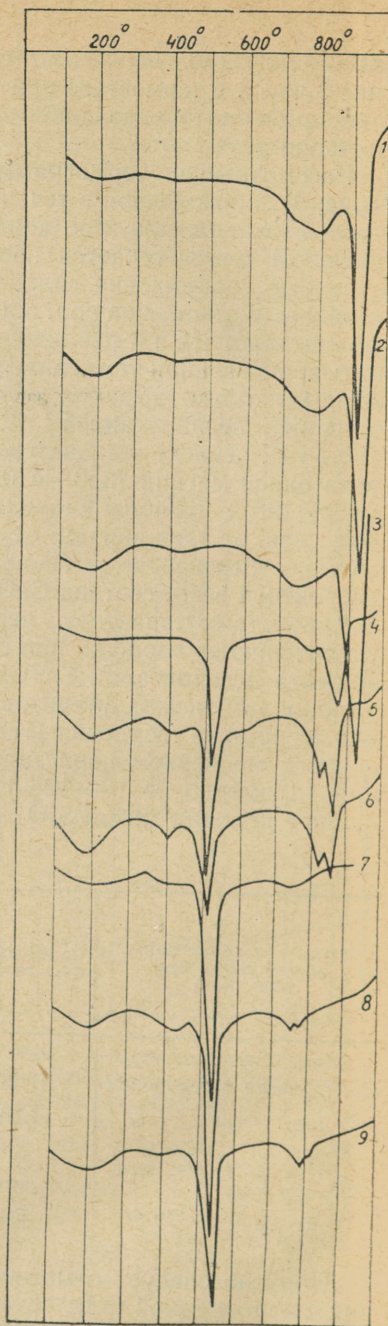


Рис. 10. Термограммы гидратированных сланцевых зол, предварительно обожженных в течение 15 минут; 1 — 800°, затворено; 2 — 800°, 3 дня твердения; 3 — 800°, 28 дней твердения; 4 — 1000°, слой 2 см, только затворено; 5 — 1000°, 3 дня твердения; 6 — 1000°, 28 дней твердения; 7 — 1000°, слой 0,5 см, только затворено; 8 — 1000°, 3 дня твердения; 9 — 1000°, 28 дней твердения.

больших сроках твердения пробы, обусловлен теми же причинами (гидросиликаты кальция, гигроскопия и гипс). Второй — при $350-400^\circ$ — является следствием дегидратации $Mg(OH)_2$, а третий — ($460-530^\circ$), для проб, нагревавшихся при 1000° , — следствием дегидратации $Ca(OH)_2$. Крайне слабое проявление этого эффекта для проб, обожженных при 800° , объясняется двумя причинами: 1) меньшим количеством диссоциировавшего карбоната кальция и 2) образованием ортосиликата кальция за счет взаимодвижения SiO_2 с CaO , обладающей в момент выделения повышенной реакционной способностью. Четвертый эффект, как и предшествующие ему, — эндотермического характера ($750-880^\circ$) и объяснен своим происхождением диссоциации неразложившейся при обжиге зол карбонатной составляющей. Эндотермический перегиб на левой ветви кривой этого эффекта связан с дополнительным образованием ортосиликата кальция при выделении новых порций активной окиси кальция во время нагревания.

Не следует забывать о возможности образования в процессе твердения гидрокарбонатов или основных карбонатов кальция.

Резюмируя наши наблюдения, можно утверждать, что основным процессом минералообразования, проходящим при нагревании сланцевых зол, является возникновение двухкальциевого силиката. Этот процесс начинает проявляться при температуре около 700° и продолжается при дальнейшем нагревании золы до полного исчерпывания возникающей свободной окиси кальция.

Образование однокальциевого алюмината установлено только в пробах, длительно нагревавшихся при 1000° .

Окись магния, возникающая после разложения карбонатов, сохраняется в свободном состоянии; скорость гидратации ее зависит от температуры обжига золы.

При кратковременном или длительном нагревании свободная окись кальция появляется в тех случаях, когда скорость ее образования превышает скорость, с которой известь может реагировать с SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Окислы железа, образующиеся при окислении марказита и дегидратации лимонита, переходят в гематит, который мы наблюдали в большинстве проб. Весьма вероятно и образование ферритов кальция (наблюдениями они еще не установлены).

Без изменения химического состава остается часть более крупных кварцевых зерен.

Поведение окислов калия и натрия, возникающих в свободном состоянии после разложения ортоклаза и гидрослюдистых минералов, представляется нам следующим: судя по быстрому и почти полному переходу в раствор при обработке прокаленной золы дистиллированной водой, щелочи не могут быть связаны в молекуле ортосиликата кальция (например, в виде соединения $K_2O \cdot 23CaO \cdot 12SiO_2$) или других нерастворимых в воде минералов, но образуют щелочные метасиликаты и сульфаты, из которых

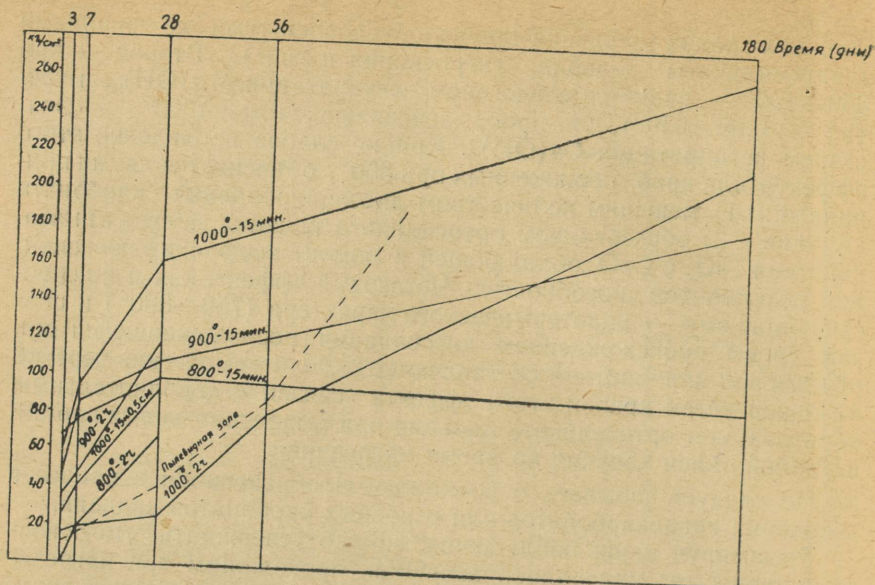


Рис. 11. Нарастание прочности гидратированных зол при отвердевании.

первые легко гидролизуются, а вторые безостаточно и быстро переходят в раствор.

В заключение мы приводим на рис. 11 кривые нарастания прочности кубиков, изготовленных из сланцезольного теста. Обожженные золы измельчались до полного прохождения через сито с диаметром отверстий 0,09 мм (4900 отв/см²) и смешивались с водой до получения теста стандартной консистенции. Изготовленные кубики размером 2×2×2 см хранились в формах в течение 24 часов, затем в эксикаторе с постоянной влажностью (около 95%). Результаты испытаний показали, что наименьшей механической прочностью обладают кубики из зол, обожженных в течение 2 и 4 часов. Очень малая начальная прочность этих проб со временем медленно нарастает и к концу твердения увеличивается в 4—5 раз.

Все пробы, обжигавшиеся в течение 15 минут, обнаруживают большую начальную прочность и быстрое ее нарастание со временем хранения.

Наилучшие результаты в 56-дневном возрасте показала зола, полученная при 1000° (180 кг/см²). Обжиг дополнительной пробы золы, уложенной тонким слоем (0,5 см) на дно капсулы, который проводился в течение 15 минут при 1000° с целью возможно полного удаления CO₂, дал продукт, содержащий лишь 0,52% углекислоты, при незначительно повышенном содержании CaO и растворимого SiO₂ (по сравнению с пробой, нагревавшейся в слое толщиной 20 мм). Однако механическая прочность этих образцов

оказалась намного меньше, чем образцов, содержавших большие количества CO_2 и клинкерных минералов.

По аналогии с воздушной известью, твердение которой в присутствии карбонатов кальция дает лучшие результаты ⁽⁵⁾, мы ожидали, что добавка CaCO_3 может улучшить вяжущие свойства золы и с этой целью провели испытания механической прочности кубиков, изготовленных с добавкой 6% CaCO_3 . Действительно, начальная прочность образцов резко повысилась (табл. 5).

Таблица 5

Вид золы	Предел прочности на сжатие при твердении в насыщенном воздухе в кг/см ²		
	через 3 дня	через 7 дней	через 28 дней
Зола 1000° (15 мин.), слой 2 см	60,00	95,62	160,62
Зола 1000° (15 мин.), слой 0,5 см	28,62	42,19	92,18
Зола 1000° (15 мин.), слой 0,5 см + 6% CaCO_3	64,06	79,68	не опред.

Выводы

1. При нагревании сланцевой золы в атмосфере воздуха в ней происходит образование за счет окиси кальция, остающейся после разложения карбонатной составляющей, сначала двухкальциевого силиката, а затем и моноалюмината кальция. Вся окись магния и часть окислов железа остаются в свободном состоянии, образуя периклаз и гематит. Остальная часть окислов железа связывается с известью в ферриты кальция. Окислы калия и натрия, освобождающиеся при разложении ортоклаза и гидрослюд, образуют легкорастворимые силикаты и сульфаты. Окислы серы, выделяющиеся при окислении марказита, связываются окисью кальция и образуют ангидрит. В зависимости от температуры и длительности обжига в золах может присутствовать большее или меньшее количество карбонатов и свободной окиси кальция. Все золы содержат свободную SiO_2 .

2. Наилучшие вяжущие свойства показали золы, кратковременно нагревавшиеся при температуре около 950—1000° и содержавшие в своем составе 5—7% неразложившегося карбоната кальция. Добавка 6% карбоната кальция к плохо твердеющим, не содержащим его золам привела к восстановлению вяжущих свойств этих зол.

3. Из-за сложного минерального состава обожженных зол, твердение их проходит по сложному, комбинированному типу. Однако следует отметить преобладание типов клинкерного и пуццоланового твердения.

4. Наличие свободных SiO_2 и CaO в промышленных золах позволяет при использовании методов гидротермальной обработки, активизирующих SiO_2 , полностью отказаться от применения кислых минеральных дополнительных добавок* и даже говорить о возможности введения дополнительных количеств CaO .

5. Применение термографического метода исследования дает возможность быстро и надежно устанавливать особенности твердения сланцевых зол любого происхождения, проводить определение содержания свободной извести и осуществлять выбор необходимого количества гидравлических добавок для тех сланцевольных вяжущих, которые будут применяться в условиях нормального твердения, а при разработке технологического режима обработки сланцевольных вяжущих веществ, подвергающихся пропариванию или запариванию, устанавливать оптимальную продолжительность этих процессов.

*Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Б. Гецелов, Причины твердения сланцевой золы, «Горючие сланцы», № 2, 1935.
2. Н. Л. Дилакторский, О. Г. Киррет, Ю. М. Эйзен, Термический анализ горючего сланца-кукерсита, Известия АН ЭССР, т. II, № 1, 1953.
3. В. В. Лапин, К петрографии продуктов гидратации цементов, Труды Петрографического института АН СССР, вып. 14, 1939.
4. С. М. Розенблит, Строительные материалы из сланцевой золы, Гизместром, М.—Л., 1939.
5. В. М. Юнг, Ю. М. Бутт и др., Технология вяжущих веществ, Промстройиздат, М., 1952.

* К тем же выводам пришел и Х. Х. Корровиц (стр. 130), воспользовавшийся при исследовании вопроса о твердении сланцевольных изделий в условиях гидротермальной обработки разработанной нами методикой и некоторыми, сообщенными ему данными по процессам минералообразования.

СВОЙСТВА СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Х. Я. МЯНДМЕТС

При производстве любого гидравлического вяжущего вещества его вяжущие свойства зависят от минералогического состава исходного сырья, условий обжига и тонкости помола.

В состав неорганической части сланца-кукерсита входят 50—70% углекислого кальция и 25—35% глинистых включений и мелкозернистого кварца, кроме того примерно 3% углекислого магния, 3—4% пирита, гипса и других минералов.

В таблице 1 приведены сравнительные данные о содержании окиси кальция и глинистых включений в разных исходных сырьевых материалах для производства гидравлической извести, романце-мента и вяжущего из сланца-кукерсита.

Из таблицы 1 видно, что химический состав минеральной части горючего сланца-кукерсита близок по составу к мергелям, т. е. к исходному сырью романце-мента⁽³⁾, и вполне отвечает требованиям, предъявляемым к сырью для производства гидравлического вяжущего типа романце-мента.

Таблица 1

Зависимость продукта обжига от химического состава исходного сырья

Исходное сырье	Продукт обжига	Пределы колебаний содержания окиси кальция (на прокаленное вещество) в %	Пределы колебаний содержания глинистых включений (на прокаленное вещество) в %	Гидро модуль
Мергелистый известняк	Слабая гидравлическая известь	90—80	10—20	9—4,5
Известковый мергель	Сильная гидравлическая известь	80—60	20—40	4,5—1,7
Мергель	Романцемент	60—50	40—50	1,7—1,1
Горючий сланец-кукерсит	Сланцеозольное вяжущее	56—40	36—50	1,5—0,8

Наряду с химическим составом сырья важнейшим фактором при производстве вяжущего является процесс его обжига.

Известно, что вяжущие свойства сланцевой золы резко изменяются в зависимости от условий сжигания сланца. При сжигании сланца в промышленных топках трудно следить за химическими процессами, происходящими в минеральной части сланца.

Опыты, проведенные нами в лабораторных условиях по изотермическому нагреванию минеральной части сланца (1—2 г) при различных температурах в течение 4 часов, приводят к следующим выводам:

1. Выделение углекислого газа и образование свободной извести можно наблюдать уже при температуре 580°.

2. Количество свободной извести возрастает вначале с повышением температуры, вследствие разложения карбоната кальция. Оно доходит до максимума при температуре 680—720°. После этого количество свободной извести уменьшается непрерывно, так как с повышением температуры свободная известь связывается с кислотными окислами глинистого вещества, образуя силикаты, алюминаты и ферриты кальция. Первичными новообразованиями в золе следует считать двухкальциевый силикат, монокальциевый алюминат и монокальциевый феррит (1).

Определяя в сланцевой золе свободную известь и ту часть CaO, которая связана с углекислотой и серной кислотой (в карбонатах и в гипсе), и вычитая полученную сумму из общего количества CaO, содержащегося в золе, получаем ту часть CaO, которая связана в новообразованиях:

$$\text{CaO в новообразованиях} = \text{CaO общая} - (\text{CaO свободная} + \text{CaO в карбонатах} + \text{CaO в сульфатах}). \quad (1)$$

Новообразования, содержащие кальций, являются в составе золы самыми существенными, так как от них зависят прочностные свойства и степень гидравличности вяжущего.

Количество процентов окиси кальция, связанной в новообразованиях, не дает еще представления о том, какая часть имеющейся в золе окиси кальция осталась непрореагировавшей.

Для характеристики процессов взаимодействия CaO с кислотными окислами в сланцевых золах желательно выразить ту часть CaO, которая вступила в соединение с ними, в процентном соотношении к общему количеству содержащегося в золе CaO. Эта величина показывает «степень превращения CaO»:

$$\text{Степень превращения CaO в \%} = \frac{\text{CaO в новообразованиях} \cdot 100}{\text{CaO общая}}. \quad (2)$$

На рис. 1 показана зависимость степени превращения CaO от температуры обжига минеральной части сланца с гидромодулем 0,9 и некоторых известковых мергелей местного происхождения с гидромодулями 2,2, 2,3 и 9,3 при температурах от 720 до 1100° (нагревание изотермическое, с малым количеством вещества, в продолжение 4 часов). Мергели были взяты на исследование для того, чтобы найти общую закономерность в химических процессах между минеральной частью сланца и мергелями при их термической обработке.

Из рис. 1 видим следующее:

1. Полученные кривые как для минеральной части сланца, так и для мергелей по своему характеру сходны, что указывает на

аналогичность химических процессов, происходящих при обжиге.

2. В веществах, более богатых глинистыми включениями, степень превращения CaO повышается, т. е. зависит от химического состава исходного сырья.

3. При изотермическом нагреве в пределах температур от 720 до 1100° образование силикатов, алюминатов и ферритов кальция (в зависимости от этого и степень превращения CaO), начиная с температуры $\sim 800^\circ$, проходит почти по линейной зависимости от температуры.

Существует определенная зависимость между степенью превращения CaO сланцевой золы и ее вяжущими свойствами.

Вяжущие свойства золы, обожженной в лабораторных условиях, оказались оптимальными при степени превращения CaO от 30 до 55% в случае длительного нагревания от 800 до 900° . При обжиге мергелей, более богатых окисью кальция, чем минеральная часть сланца, оптимальная температура при длительном нагреве соответственно повышается до достижения такой же (30 — 55%) степени превращения CaO (рис. 1). Из этого следует, что при обжиге горючего сланца или мергелей оптимальная температура обжига зависит от их химического состава. Таким образом, определив в сланцевой золе степень превращения CaO , мы можем судить и о вяжущих свойствах золы. Определение же химического состава исходного сырья позволяет указать оптимальную температуру при длительном обжиге его.

Наряду с лабораторными опытами, проведенными в Институте, производились исследования вяжущих свойств новых видов про-

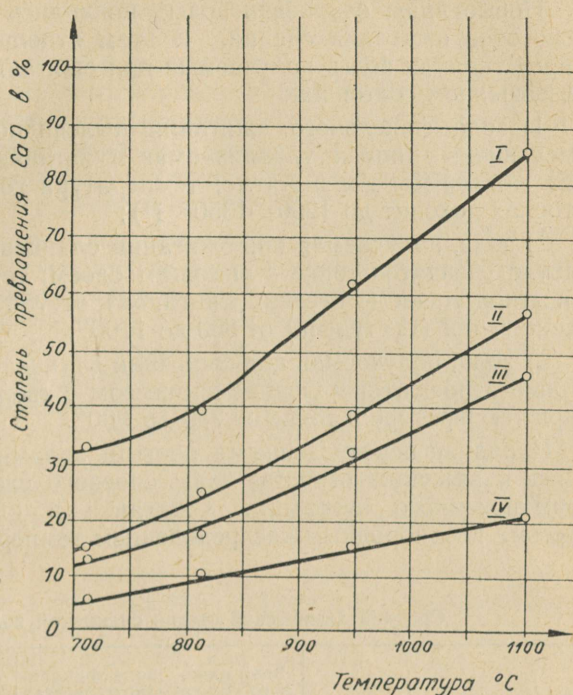


Рис. 1. Зависимость степени превращения CaO от температуры. I — минеральная часть сланца, гидромодуль 0,9; II — мергель, гидромодуль 2,2; III — мергель, гидромодуль 2,3; IV — мергелистый известняк, гидромодуль 9,3.

мышленных и полупромышленных зол, давшие возможность проверить результаты лабораторных опытов.

Новые виды сланцевой золы появились с внедрением новых способов сжигания сланца. В этом отношении особый интерес представляли золы, получаемые при сжигании мелкого сланца во взвешенном состоянии:

1) зола факельного сжигания пылевидного сланца в шахтно-мельничных топках, улавливаемая мультициклонами, в ТЭЦ города Кохтла-Ярве и в Ахтме; температура горения сланца в этих топках доходит до 1200—1350° (*);

2) зола, получаемая при сжигании сланцевой мелочи в опытной двухступенчатой топке с кипящим слоем; температура в корпусе опытной топки (I ступень сжигания) от 750 до 900°, а в камере дожига (II ступень) от 800 до 1100°;

3) зола, получаемая при сжигании сланцевой мелочи в опытной топке аэрофонтанирующим процессом с твердым теплоносителем при температуре в топке от 750 до 900°.

Наряду с перечисленными новыми золами Институтом изучались и вязущие свойства золы слоевого сжигания сланца, т. е. обыкновенного кукурмита. Сжигание в слое характеризуется весьма неоднородным распределением температур.

Средний химический состав сланцевой золы (в %)

Таблица 2

Химический состав	Зола слоевого сжигания сланца (обыкновенный кукурмит)	Зола факельного сжигания сланца (кукурмит гидравлический)	Зола-унос из опытной двухступенчатой топки	Зола из аэрофонтанной топки
CaO	37,0	39,0	35,0	33,0
MgO	4,0	4,5	4,0	4,0
SiO ₂	28,0	32,0	32,0	32,0
Al ₂ O ₃	7,0	8,0	7,0	8,0
Fe ₂ O ₃	4,0	5,5	6,0	4,5
SO ₃	3,2	4,0	4,0	4,5
S	0,8	0,2	0,4	0,4
CO ₂	12,0	3,0	8,0	10,0
K ₂ O + Na ₂ O	3,0	3,0	3,0	2,6
Остаток (в том числе горючее и гидратная вода)	1,0	0,8	0,6	1,0
CaCO ₃	12—40	3—10	8—18	5—25
CaO _{своб}	10,0	16,0	8,0	4,0
CaO в новообразованиях	13,0—20,0	12,0—18,5	10,0—15,0	8,0—13,0
Степень превращения CaO				
CaO в новообраз. × 100				
CaO общая	35—55	30—50	35—40	30—40
Гидромуль	0,95	0,86	0,78	0,74

Все эти золы отличаются друг от друга вяжущими свойствами и химическим составом в зависимости от температуры и однородности сжигания. В таблице 2 приведен средний химический состав всех названных зол.

Из табл. 2 видно, что зола факельного сжигания пылевидного сланца содержит меньше углекислоты и больше свободной извести, чем другие золы. Это обусловлено высокой температурой и коротким временем ее воздействия на минеральную часть сланца (3—4 сек.), при котором образующаяся свободная известь не успевает прореагировать с кислотными окислами.

Пылевидная зола содержит меньшее количество сульфидной серы (примерно 0,2%), чем другие золы. Это объясняется тем, что сульфидная сера, находящаяся в сланце (в пирите), полностью выгорает при высокой температуре факельного сжигания.

Из табл. 2 видно еще, что промышленные золы имеют степень превращения CaO от 30 до 50%, то есть такого же порядка, как при длительном нагреве при температурах 800—900° (рис. 1). Это говорит о том, что при кратковременном воздействии высоких температур на минеральную часть сланца степень превращения CaO может оставаться все же в пределах от 30 до 55%, т. е. быть оптимальной. Такая зола должна обладать хорошими вяжущими свойствами.

Действительно, все названные золы, кроме обыкновенного кукуермита, обладают в молотом виде хорошими вяжущими свойствами, имея в среднем марку «200».

Обыкновенный кукуермит имеет, как правило, марку «50» при тонкости помола, характеризуемой остатком 8—10% при просеивании на сите с 4900 отв/см²; объемный вес его 0,9 и удельный вес в среднем 2,6.

Вяжущие из обыкновенного кукуермита обладают сравнительно слабыми гидравлическими свойствами и не водостойки без специальных добавок, хотя имеют вполне равномерное изменение объема при отвердевании на воздухе. Неводостойкость и сравнительно низкая марка обусловлены неравномерной термической обработкой при слоевом сжигании, большим содержанием ошлаковавшихся частиц (в среднем 25%), имеющих слабые вяжущие свойства, и значительным содержанием неразложившихся карбонатов кальция (примерно 25—40%), частично также сульфидной серы, находящейся в обыкновенном кукуермите в количестве 0,8—1,0%.

При факельном сжигании пылевидного сланца, например, в шахтно-мельничных топках, пыль горючего сланца и вместе с тем его минеральная часть находится при температуре 1200—1350° в продолжение нескольких секунд. Этого времени, однако, достаточно (принимая во внимание размер мелких частиц сланца и высокую температуру топки) для полного выгорания его органической части, почти полного разложения карбоната кальция и образования в золе новых соединений кальция, необходимых для получения гидравлического вяжущего.

Немолотая пылевидная зола представляет собой сравнительно тонкий порошок: сквозь сито с 4900 отв/см² проходит 75—90%; средний удельный вес ее 2,7, объемный вес около 1,0. Она обладает вяжущими свойствами уже в натуральном виде: образцы из жесткого раствора имеют механическую прочность на сжатие от 20 до 60 кг/см² в 28-дневном возрасте, но характеризуются неравномерностью изменения объема и отсутствием водостойкости. Причиной этого следует считать содержание в золе сравнительно большого количества «пережженной» извести (примерно 16%) при наличии оплавленной поверхности частиц золы. Свободная известь, находящаяся внутри зерен, гасится при затворении пылевидной золы водой после отвердевания вяжущего, что вызывает появление трещин на образцах.

Разрушение частиц пылевидной золы путем помола облегчает доступ воды к свободной извести при затворении, ускоряет процесс ее гидратации, а также гидратации находящихся в золе силикатов и алюминатов кальция. Это и ведет к повышению качества строительных вяжущих веществ, получаемых из этой золы.

В зависимости от тонкости помола из одной и той же золы можно получить вяжущее вещество с марками от «100» до «250» (табл. 3).

Таблица 3

Физико-механические свойства пылевидной золы в зависимости от тонкости помола

Обозначение пробной партии пылевидной золы	Прошло через сито 4900 отв/см ² в %	Удельная поверхность в см ² /г	Сроки схватывания		Нормальная густота раствора (1:3) в %	Предел прочности на сжатие в кг/см ² (жесткий раствор 1:3, нормальные кубики)			при хранении образцов в течение 28 дней во влажном воздухе и в течение 28 дней в воде
			начало час, мин.	конец час, мин.		через 7 дней	через 28 дней	через 56 дней	
Зола К ₃ немолотая	74,8	1422	1,50	3,55	7,75	11,2	29,6	16,6*	разруш.
„ „ молотая	96,7	1815	1,40	3,50	7,75	17,3	45,3	70,0	„
„ „ „	96,8	1960	1,30	3,45	7,25	28,3	69,3	125,0	„
„ „ „	99,4	2810	1,20	3,40	7,25	30,7	119,0	141,0	91,0
„ „ „	99,5	4760	1,15	3,15	7,25	53,0	195,0	281,0	262,0
„ „ немолотая	86,4	1460	1,55	3,45	7,50	8,6	42,0	53,6	разруш.
„ „ молотая	98,7	не опред.	1,00	2,30	7,50	22,0	81,6	122,4	не опред.
„ „ „	99,4	3696	0,50	2,10	6,30	64,0	285,0	300,0	„

* Образцы имели трещины.

С увеличением тонкости помола уменьшается и неравномерность изменения объема золы, повышается ее водостойкость, укорачиваются сроки схватывания.

Сильное разрушающее действие находящейся в золе «пережженной» свободной извести можно отчасти устранить предварительным гашением ее соответствующим количеством воды (3—5% от веса золы). При этом можно предполагать, что добавленная вода расходуется в основном на гашение свободной извести, а не на гидратацию силикатов и алюминатов кальция, образовавшихся в процессе обжига пылевидного сланца, что снизило бы прочностные свойства золы. Но предварительное гашение не всегда придает пылевидной золе полную водостойкость. Иногда приходится прибавлять к золе активные минеральные добавки. Влияние активных минеральных добавок объясняется тем, что в их состав входят кремнезем и глинозем, способные связывать свободную известь в растворах. Они образуют гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, которые придают растворам водостойкость и повышают прочность.

В качестве активных минеральных добавок к золе факельного сжигания пылевидного сланца первоначально (в 1951—1952 гг.) использовался сиптоф и брянский трепел. Исследованиями Института строительства и строительных материалов АН ЭССР, проведенными в 1953 году, доказано, что дальнепривозной брянский трепел можно заменить местными активными минеральными добавками: слабообожженными глинами — глинистом и прокаленным диатомитом месторождения Леекова.

Из местных глин оказались пригодными только некоторые глины девонского возраста (глины месторождения Сювахавва, в Ряпинском районе, и Пыльва-Иоозу) и некоторые глины четвертичного возраста, например глины месторождения Хаапсалу, Пярну, Вана-Вигала и Тюри.

Оптимальная температура обжига для этих глин находится в пределах 650—750°.

Диатомит месторождения Леекова можно использовать в качестве активной добавки к сланцевой золе также только в обожженном виде (при температурах от 500 до 750°С). Слой с объемным весом ниже 0,3, более богатые диатомеями (т. е. более чистые слои), залегают на глубине 1,5 м.

Положительные результаты были получены также добавлением активных минеральных добавок к обыкновенному кукурмиту.

Влияние активных минеральных добавок на механические свойства пылевидной золы и обыкновенного кукурмита показано в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, добавка активных минеральных веществ существенно улучшает вяжущие свойства пылевидной золы и обыкновенного кукурмита. Марка в обоих случаях повышается в несколько раз. Неравномерность изменения объема устраняется полностью, и вяжущее приобретает водостойкость.

Таблица 4

Прочность трамбованных образцов (раствор 1:3) из пылевидной золы и обыкновенного кукурмита в зависимости от добавления активных минеральных добавок

Пробная партия золы	Состав вяжущего в %				Активные минеральные добавки	Вид раствора	Нормальная пустота раствора (1:3) в %	Предел прочности на сжатие в кг/см ²				
	зола	трепел	глинит	диатомит				при хранении образцов (нормальные кубики)				7 дней во влажном воздухе и 21 день в воде
								во влажном воздухе				
								7 дней	28 дней	56 дней		
Пылевидная зола, немолотая	100	—	—	—	Без добавки	Жесткий	7,75	5*	20*	38*	разруш.	
" "	80	20	—	—	Брянский трепел	"	7,75	109	164	212	156	
" "	70	—	30	—	Глина из Пярну	"	7,00	86	155	161	132	
" "	70	—	—	30	Диатомит из Леекова	"	11,50	70	162	175	130	
Пылевидная зола, молотая	100	—	—	—	Без добавки	Жесткий	6,75	23	90	118	разруш.	
" "	80	20	—	—	Брянский трепел	"	7,25	145	229	306	227	
" "	70	—	30	—	Глина из Вана-Вигала	"	6,75	155	228	290	206	
" "	70	—	30	—	Глина из Пярну	"	6,75	83	161	167	103	
" "	75	—	—	25	Диатомит из Леекова	"	10,75	74	170	178	138	
" "	100	—	—	—	Без добавки	Пласт.	11,0	5	24*	29*	разруш.	
" "	80	20	—	—	Брянский трепел	"	11,9	6	62	не опред.	не опред.	
" "	70	—	30	—	Глина из Вана-Вигала	"	11,0	9	86	111	58	
" "	70	—	30	—	Глина из Пярну	"	11,0	8	65	90	25	
" "	70	—	—	30	Диатомит из Леекова	"	17,1	12	74	119	57	
Кукурмит обыкновенный	100	—	—	—	Без добавки	Жесткий	8,25	8	60	97	разруш.	
" "	80	20	—	—	Брянский трепел	"	9,75	49	160	179	134	
" "	70	—	30	—	Глина из Пярну	"	8,5	25	140	156	80	
" "	70	—	—	30	Диатомит из Леекова	"	12,25	30	102	108	79	

* Образцы имели трещины

Производственные партии новых видов сланцезольного вяжущего с внесением названных активных минеральных добавок, выпущенные заводом «Кукермит» на базе пылевидной золы и обыкновенного кукермита, обладали вполне равномерным изменением объема, хорошей водостойкостью и достаточной пластичностью.

В 1951 году на заводе «Кукермит» был организован первый опытный помол пылевидной золы с добавкой брянского трепела. Выпущенное вяжущее, в количестве около 6 тонн, было использовано в основном на изготовление кладочных и штукатурных растворов. Марка вяжущего была «200».

В 1952 году на заводе «Кукермит» было размолото 140 тонн пылевидной золы с добавкой 20% трепела. Это вяжущее было с успехом применено под руководством Института строительства и строительных материалов на строительных площадках города Таллина и под руководством Таллинского политехнического института в совхозах и колхозах Эстонской ССР для строительных растворов и для изготовления бетонных полов.

В 1953 году на заводе «Кукермит» было выпущено новое вяжущее — пылевидная зола с добавкой глиниста в количестве 30%. Глинист был приготовлен из слабообожженной глины месторождения Пярну. Это вяжущее дало хорошие результаты при изготовлении строительных растворов для кирпичной и бутовой кладки.

В 1953 году на заводе «Кукермит» был выпущен в количестве 200 тонн, а в 1954 году в количестве 8000 тонн новый вид вяжущего, изготовленного уже на базе обыкновенного кукермита с добавкой 30% глиниста (обожженная глина месторождения Пярну). Марка этого нового вяжущего, улучшенного обыкновенного кукермита, примерно «100». Оно обладает водостойкостью по ГОСТ 2542—44 на романцемент. По оценке потребителей, оно обладает также удовлетворительной пластичностью. Все это говорит о том, что в настоящее время оба вида промышленных зол, получаемых при слоевом и пылевидном сжигании сланца с внесением активных минеральных добавок местного происхождения, являются ценными материалами для производства дешевого местного строительного гидравлического вяжущего.

Основываясь на достигнутых результатах в изучении основных свойств сланцевой золы как вяжущего, Институт выполнил ряд работ по использованию сланцезольного вяжущего в бетоне, железобетоне и пенобетоне в качестве заменителя портландцемента.

Качественными сланцезольными вяжущими можно считать и сланцевые золы, получаемые из опытных полупромышленных двухступенчатых топок с кипящим слоем для сланцевой мелочи.

Во время сжигания мелкого горючего сланца в опытной двухступенчатой топке с кипящим слоем происходит фракционирование золы на золу-унос (в камере дожигания; примерно 60% от общего количества золы) и на более крупнозернистую золу, вы-

деляемую в генераторе (в корпусе топки) на первой ступени горения.

Зола-унос в молотом виде дает вяжущее с маркой в пределах от «150» до «300». Вяжущее из такой золы имеет вполне равномерное изменение объема и удовлетворительную водостойкость.

Генераторная зола обладает худшими вяжущими свойствами по сравнению с золой-уносом. Вяжущее из молотой генераторной золы имеет марку примерно «100», но не обладает водостойкостью.

Зола, получаемая в опытной установке при сжигании мелкого горючего сланца аэрофонтанирующим процессом с твердым теплоносителем, дает в молотом виде марку вяжущего в пределах от «150» до «200». Эта зола обладает равномерным изменением объема, хорошей водостойкостью и хорошей пластичностью.

Зола играет в этой установке роль твердого теплоносителя, подвергаясь сравнительно длительному нагреву. Это обеспечивает разложение карбонатов, образование силикатов и алюминатов кальция, необходимых для гидравлического вяжущего.

Прочность сланцезольных растворов значительно повышается при длительном хранении их во влажном воздухе.

Механическая прочность трамбованных образцов из этих зол (молотых) в зависимости от сроков твердения приведена в таблице 5.

Образцы хранились во влажном воздухе (относительная влажность от 95 до 100%).

Таблица 5

Прочность на сжатие образцов при хранении их во влажном воздухе в кг/см²

Дата получения золы	Обозначение пробы золы	Вид золы	Нормальн. густота раствора (1:3) в %	Прочность на сжатие в кг/см ² через							
				7 дней	23 дней	56 дней	6 месяцев	1 год	1,5 года	2 года	3 года
7. III 1951	« S »	Пылевидная зола, молотая	7,75	56	217	242	330	424	не опр.	не опр.	436
21. III 1951	«Т-4»	Зола-унос из опытной двухступенчатой топки	7,4	113	333	359	400	429	448	„	не опр.
30. I 1952	«I-28»	Зола из опытной установки с твердым теплоносителем	7,9	206	243	248	228	не опр.	321	332	„
23. III 1951	«30-1»	Кукермит обыкновенный	8,1	12	43	70	121	125	не опр.	134	„

Из таблицы 5 видно, что к годовому возрасту прочность образцов из пылевидной золы повышается в два раза по сравнению с

28-дневной прочностью, а при кукермите обыкновенном прочностью образцов доходит даже до трехкратной величины.

Наращение прочности образцов из золы, обожженной при более низкой температуре, как, например, золы, получаемой из опытной установки с твердым теплоносителем (температура обжига 860°), в первые дни твердения происходит значительно быстрее (7 дней, прочность 206 кг/см^2), чем у других зол. Это имеет большое значение при использовании этой золы в строительстве в качестве вяжущего.

Можно предполагать, что быстрое нарастание прочности низко-температурных зол обусловлено содержанием в них монокальциевого алюмината (^{1, 2}).

Заключение

Исследование вяжущих свойств различных видов зол, получаемых при разных условиях сжигания сланца, позволяет предполагать, что при надлежащем термическом режиме соответствующих установок можно получить качественное вяжущее типа романце-мента из любого вида товарного сланца-кукерсита. Марка вяжущего при правильном термическом режиме для всех видов золы будет в среднем около «200». Оптимальной температурой при длительном обжиге сланца следует считать $800\text{—}900^{\circ}$. Полученная зола не должна содержать при этом более 10% углекислоты.

Вяжущие свойства пылевидной золы зависят главным образом от количества и скорости гидратации свободной извести, входящей в состав этой золы. Тонкий помол, как правило, помогает ускорить процесс гидратации свободной извести. При наличии же в пылевидной золе «пережженной» извести для устранения разрушающего действия медленно погасающей окиси кальция приходится наряду с помолом прибегать к введению активных минеральных добавок.

*Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР*

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Будников, А. С. Бережной, Реакции в твердых фазах, Промстройиздат, М., 1949.
2. С. А. Миронов, Температурный фактор в твердении бетона, Стройиздат, М., 1948, стр. 71.
3. В. Н. Юнг, Ю. М. Бутт, В. Ф. Журавлев, С. Д. Окорок, Технология вяжущих веществ, Гос. изд. лит. по строительным материалам, М., 1952.
4. J. Orik, Lendtuha sadestiste paatumine põlevkivi-kukersiidi küttega agregaatide küttepindadel. Dissertatsioon, Tallinn 1953.

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ЦИКЛОННОЙ ЗОЛЫ ТОПОК ПЫЛЕВИДНОГО СЖИГАНИЯ

В. Х. ҚИКАС

Целью исследования было фракционирование золы по некоторым физическим свойствам и установление химического состава, вязущих и других свойств полученных фракций.

Фракционирование циклонной золы топки пылевидного сжигания производилось по крупности зерен и удельному весу. По крупности зерен зола была разделена при помощи сита № 60 на две части, которые в свою очередь были разделены по удельным весам с помощью тяжелых жидкостей.

В качестве тяжелых жидкостей были использованы смеси иодистого метилена, тетрабромэтана и нитробензола, высушенные хлористым кальцием.

Удельные веса жидкостей были следующие:

Иодистый метилен	3,32 г/см ³
Тетрабромэтан	2,96 „
Нитробензол	1,22 „

Для фракционирования были использованы: 1) смесь нитробензола с тетрабромэтаном ($\gamma = 2,4—2,9$ г/см³) и 2) смесь тетрабромэтана с иодистым метиленом ($\gamma = 3,0—3,3$ г/см³).

Фракционирование производилось периодически работающей центрифугой, для чего была изготовлена суспензия, содержащая 2,5% по объему неизмельченной циклонной золы, которую центрифугировали в течение 5 минут. Центрифугирование производилось со средним центробежным ускорением, превышавшим ускорение силы тяжести в 1050 раз.

Каждую фракцию центрифугировали два раза. В результате были получены достаточно чистые фракции, содержавшие посторонние фракции в едва заметных количествах. Фракции промывались эфиром и высушивались при температуре 105—110°.

Данные об использованной золе

Циклонная зола была получена в Кохтла-Ярве из топки котла, работавшего под высокой нагрузкой, причем паропроизводительность котла была 43 т/ч. Дата взятия пробы — 1 марта 1952 г.

Химический состав циклонной золы (в процентах):

Нерастворимый остаток	16,5
SiO ₂ нерастворимый	13,1

SiO ₂ растворимый	19,5
Al ₂ O ₃ нерастворимый	1,28
Al ₂ O ₃ растворимый	7,6
Fe ₂ O ₃ нерастворимый	0,24
Fe ₂ O ₃ растворимый	5,0
CaO _{общ}	36,2
CaO _{своб}	13,7
MgO	5,6
K ₂ O+Na ₂ O	3,3
SO ₃	4,5
Потеря при прокаливании	3,1

Удельный вес — 2,81 г/см³.

Гранулометрический состав:

Остаток на сите	900 отв/см ² — 0,7%
„ „	4 900 отв/см ² — 6,7 „
„ „	10 000 отв/см ² — 7,8 „
Прошло сквозь сито 10 000 отв/см ² —	84,8 „

Результаты исследований

Центрифугированию подвергались фракции размером 60—200μ и меньше 60μ.

Фракционный состав крупной и мелкой части циклонной золы приведен в таблице 1.

Таблица 1

Удельный вес материала в г/см ³	Количество материала в %	
	Фракция 60—200μ	Фракция <60μ
< 2,4	10,1	14,6
2,4—2,5	2,3	6,9
2,5—2,6	2,8	8,4
2,6—2,7	4,1	9,4
2,7—2,8	6,1	14,2
2,8—2,9	8,7	9,0
2,9—3,0	15,2	14,1
3,0—3,1	19,0	9,5
3,1—3,2	20,0	6,7
3,2—3,3	6,8	3,0
> 3,3	4,9	4,2

Описание фракций циклонной золы

Отдельные фракции циклонной золы были исследованы под микроскопом. Выяснилось, что они значительно отличаются друг от друга как цветом, так и формой зерна.

Самые легкие фракции (удельный вес менее 2,4 г/см³) содержат много оплавленных, круглых, серовато-зеленоватых (до ко-

Удельный вес фракции в г/см ³	Химический состав мелких фракций					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO
<2,40	53,94	14,09	3,81	9,20	0,15	3,10
2,40—2,50	55,49	13,39	2,97	7,80	0,24	3,01
2,50—2,60	56,69	10,10	3,35	6,47	0,35	2,93
2,60—2,70	45,93	9,47	3,75	—	—	3,47
2,70—2,80	37,50	10,40	4,02	—	—	4,02
2,80—2,90	25,49	6,92	3,98	—	—	4,57
2,90—3,00	20,85	5,72	4,18	—	—	5,28
3,00—3,10	16,55	4,26	3,69	—	—	6,51
3,10—3,20	14,83	5,20	8,19	—	—	11,60
3,20—3,30	14,13	4,31	6,33	—	—	17,35
>3,30	12,79	4,83	39,20	—	—	11,07

Примечание. Циклонная зола из топки пылевидного сжигания Кохт. Гранулометрический состав фракций >60 μ — 15,2%, <60 μ — 84,8%.

ричного оттенка) зерен. При возрастании удельного веса количество этих зерен уменьшается и их заменяют неправильной формы и белого цвета зерна свободной извести, а также зерна желтовато-коричневого до красновато-коричневого оттенка. Наибольшее количество зерен белого цвета наблюдается во фракции с удельным весом от 2,9 до 3,0 г/см³. При этом полностью отсутствуют круглые зеленоватые зерна и появляются отдельные круглые коричневатые зерна. У фракций с удельным весом 3,0—3,3 г/см³ уменьшается количество белых зерен, а количество зерен коричневатого оттенка увеличивается. Вместе с тем здесь начинают появляться коричневатые-черные, оплавленные, круглые зерна. В самой тяжелой фракции снова появляются круглые, блестящие, оплавленные зерна, металлическо-черный оттенок которых значительно отличается от зеленоватого тона со стекляннм отблеском круглых зерен легких фракций.

Из сравнения мелких и крупных фракций вытекает, что частицы мелких фракций значительно более оплавлены, содержат больше стекловидных зерен и менее загрязнены коксом.

Химический состав фракций циклонной золы

В результате исследований были определены химический состав фракций мелкой части циклонной золы и наличие свободной извести — для обеих частей фракций. Данные о химическом составе их приведены в таблицах 2 и 3.

Из данных таблиц 2 и 3 видно, что разделенные по удельному весу фракции циклонной золы заметно отличаются по химическому составу. Бросается в глаза значительное содержание SiO₂.

Таблица 2

циклонной золы < 60 μ				CaO _{Общ} — CaO _{своб} — — CaO _{карб} — CaO _{сульф}		CaO _{Общ} SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃
CaO _{Общ}	CaO _{своб}	CO ₂	SO ₃	в %		в %
12,41	0	1,13	1,82	9,7		0,17
13,35	0,5	3,23	2,18	7,2		0,19
15,33	1,1	3,26	2,58	8,3		0,22
24,76	7,2	4,40	3,59	9,4		0,42
31,45	9,4	3,16	4,79	14,7		0,61
42,98	15,1	3,95	6,93	18,0		1,18
49,25	20,3	2,64	7,81	20,1		1,60
55,80	25,4	2,81	7,63	21,5		2,28
52,70	19,5	3,27	5,85	24,9		1,87
51,22	17,0	3,15	5,48	26,4		2,07
31,67	7,2	1,69	2,91	20,3		0,56

Саровской ТЭЦ-2, котел № 1, нагрузка 43 т/ч.

Таблица 3

Удельный вес фракции в г/см ³	Содержание свободной CaO в %		Содержание MgO в %
	Фракция < 60 μ	Фракция 60—200 μ	Фракция < 60 μ
< 2,50	0,5	5,0	3,06
2,50—2,60	1,1	8,9	2,93
2,60—2,70	7,2	11,1	3,47
2,70—2,80	9,4	12,2	3,94
2,80—2,90	15,1	20,0	4,57
2,90—3,00	20,3	27,6	5,28
3,00—3,10	25,4	33,3	6,51
3,10—3,20	19,5	48,9	11,60
3,20—3,30	17,0	43,3	17,35
> 3,30	7,2	15,2	11,07

Примечание. Не разделенная на фракции циклонная зола размером < 60 μ содержала свободной CaO 11,2% и размером 60—200 μ — 27,1%.

Al₂O₃ и K₂O в составе легких фракций, а также малое содержание MgO, CaO, свободной извести, SO₃ и Na₂O.

С увеличением удельного веса постепенно уменьшается содержание SiO₂, Al₂O₃ и K₂O. При этом увеличивается количество MgO, CaO, свободной извести и SO₃, которые достигают максимальных значений, соответственно, для удельных весов 3,2—3,3, 3,0—3,1, 3,0—3,1 и 2,9—3,0. Во фракциях с высоким удельным весом содержание названных составных частей начинает, однако, снова падать. Наблюдается большое (39,2%) содержание Fe₂O₃ в самой тяжелой фракции.

Минимальные и максимальные количества отдельных составных частей вместе с удельным весом соответствующей фракции приведены в таблице 4.

Таблица 4

Название соединения	Минимальное количество соединения в %	Удельный вес фракции, содержащей соединение в минимальном количестве	Максимальное количество соединения в %	Удельный вес фракции, содержащей соединение в максимальном количестве	Отношение максимального и минимального количества соединений
SiO ₂	12,79	>3,3	56,69	2,4—2,5	4,4
Al ₂ O ₃	4,26	3,0—3,1	14,09	<2,4	3,3
Fe ₂ O ₃	2,97	2,4—2,5	39,2	>3,3	13,2
K ₂ O	—	—	9,2	<2,4	—
Na ₂ O	—	—	—	—	—
MgO	2,93	2,5—2,6	17,35	3,2—3,3	5,9
CaОбщ	12,41	<2,4	55,8	3,0—3,1	4,5
CaСвобод	0	<2,4	25,4	3,0—3,1	160
CO ₂	1,13	<2,4	4,4	2,6—2,7	3,9
SO ₂	1,82	<2,4	7,81	2,9—3,0	4,3
CaO, связанная с глинистой частью	7,2	2,4—2,5	26,4	3,2—3,3	3,7

Из данных таблицы 4 видно, что наименьшая неравномерность имеется в распределении Al₂O₃, для которого отношение между максимумом и минимумом составляет 3,3. Менее равномерно распределяются CO₂, SO₂, SiO₂ и CaОбщ, для которых отношения между максимальным и минимальным количествами равны 3,9, 4,3, 4,4 и 4,5. Более заметные различия между максимальным и минимальным количествами для MgO и, особенно, для Fe₂O₃ — соответственно 5,9 и 13,2. Наиболее неравномерно распределена свободная известь. Фракция, удельный вес которой <2,4 г/см³, не содержит свободной извести, поэтому отношение между максимальным и минимальным количествами бесконечно велико. Взяв за фракцию с минимальным содержанием свободной извести ту, для которой $\gamma < 2,5$ г/см³ и содержание свободной извести 0,16%, получим отношение 159.

Учитывая же фракцию более крупной части золы (>60 μ), мы получим, вероятно, еще большие различия в содержании отдельных соединений. Например, содержание свободной извести ($\gamma = 3,1—3,2$ г/см³) в крупной части золы — 48,9%. Таким образом, наибольшее отношение содержаний свободной извести в отдельных фракциях циклонной золы составляет около 300. Гидромодуль отдельных фракций циклонной золы находится в пределах от 0,17 до 2,28 (табл. 2).

Одним из характерных показателей вяжущих свойств является количество CaO, связанной с глинистой частью. Соответственно

данным, приведенным в таблице 2, это количество колеблется в пределах от 7,2 до 26,4%. Фракции с большим содержанием СаО, связанной с глинистой частью, должны обладать большей вяжущей активностью.

Этот вопрос будет подробнее освещен ниже.

Из данных химического анализа упомянутых выше фракций видно, что исследуемая зола состоит из отдельных частей, которые значительно отличаются друг от друга по удельному весу и химическому составу. Вследствие этого можно полагать, что они заметно отличаются также и по вяжущим свойствам.

Оценка свойств наиболее легкой фракции мелкой части циклонной золы как гидравлической добавки

Наиболее легкая фракция мелкой части циклонной золы с удельным весом $\gamma < 2,4$ г/см³ состоит главным образом из кислой части (около 72%). Для оценки свойств этой фракции как гидравлической добавки была произведена предусмотренная по ОСТ 3031 проба на адсорбцию извести. Определение адсорбции было произведено для упомянутой выше фракции, подготовленной двумя способами, и для брянского трепела.

Обозначения проб следующие:

- Проба № 1 — фракция циклонной золы в естественном виде;
- „ № 2 — фракция циклонной золы, измельченная в течение 5 минут в агатовой ступке;
- „ № 3 — брянский трепел, крупность порошка такая же, как пробы № 1;
- „ № 4 — брянский трепел, крупность порошка такая же, как пробы № 2.

Результаты опытов приведены в таблице 5.

Из данных таблицы 5 видно, что после 15-кратного титрования проба № 1 адсорбировала всего 29,3 мг СаО, т. е. 6,2% от количества извести, связанной трепелом. Для измельченной пробы № 2 адсорбированное количество СаО было в 3,8 раза больше, чем для

Таблица 5

Число титрований	Проба № 1		Проба № 2		Проба № 3		Проба № 4	
	Объем осадка мл	Адсорбир. СаО мг	Объем осадка мл	Адсорбир. СаО мг	Объем осадка мл	Адсорбир. СаО мг	Объем осадка мл	Адсорбир. СаО мг
2	3,0	3,5	9,0	13,4	9,0	80,4	15,0	88,2
5	5,5	8,6	25,0	24,5	8,5	184,0	17,0	213,0
8	13,0	17,8	47,0	45,4	15,0	285,0	21,0	357,0
10	17,0	27,8	58,0	62,6	10,0	360,0	22,0	463,0
15	27,0	29,3	70,0	112,3	12,0	469,0	22,0	669,0

пробы № 1. По сравнению с измельченной пробой трепела № 4 это количество составляет 16,8%.

Из этих результатов видно, что наиболее легкая фракция в измельченном виде обладает большой активностью, соответствующей активности гидравлических добавок вулканического происхождения.

То обстоятельство, что в составе вяжущих, кроме свободной извести, имеется достаточно активная гидравлическая часть, очень существенно при твердении. В особенности следует с этим считаться при твердении в условиях высоких температур ($+80^{\circ}$ и выше).

Вяжущие свойства фракций мелкой части циклонной золы

Вяжущие свойства оценивались по прочности на сжатие образцов, изготовленных из раствора. Фракции мелкой части циклонной золы ($<60\mu$) измельчались в агатовой ступке:

Раствор приготавливался состава 1 : 3 (цемент : песок). Песок составлялся из одной части вольского нормального песка и двух частей мелкого песка, из карьера Клоостриметса близ г. Таллина.

Рассматривая содержание свободной извести в отдельных фракциях мелкой части циклонной золы (табл. 3), мы видим, что оно является особенно высоким ($>20\%$) во фракциях с удельным весом выше $2,9 \text{ г/см}^3$; также очень велико в этих фракциях содержание MgO . Кроме того, эти фракции содержат в большем количестве, чем другие, вяжущие минералы: силикаты и алюминаты кальция.

Следовательно, фракции, которые содержат больше всего вяжущих минералов, дающих высокую прочность, содержат одновременно больше всего вредных составных частей, медленно реагирующих CaO и MgO . Эти вредные составные части вызывают большие внутренние напряжения в твердеющем монолите вследствие запаздывающей гидратации. Поэтому мы можем получить низкие показатели прочности у фракций, которые содержат в наибольшем количестве ценные составные части вяжущего.

Таким образом, может возникнуть положение, что в вяжущих свойствах отдельных фракций не окажется сколько-нибудь значительной разницы.

Для известного ограничения вредного влияния свободной CaO и MgO и усиления влияния кальциевых силикатов и алюминатов при изготовлении раствора к воде добавлялся AlCl_3 в количестве 3% от веса вяжущего.

Консистенция раствора была жесткая, водовяжущее отношение — 0,40. Раствор уплотнялся под давлением 400 кг/см^2 в течение 2 минут.

Из раствора были изготовлены цилиндры, диаметр и высота которых были равны 9 мм. Данные о пределе прочности при сжатии приведены в таблице 6.

Таблица 6

Удельный вес фракции в г/см ³	Прочность раствора на сжатие в кг/см ²
<2,5	3
2,5—2,6	28
2,6—2,7	44
2,7—2,8	30
2,8—2,9	56
2,9—3,0	54
3,0—3,1	61
3,1—3,2	152
3,2—3,3	140
>3,3	78

Примечание. Не разделенная на фракции циклонная зола <60 μ имела прочность на сжатие 78 кг/см².

Данные показывают, что фракция с удельным весом < 2,5 практически не обладает вяжущими свойствами. Таким образом, примерно 21,5% мелких фракций циклонной золы является инертным материалом. У фракций с удельным весом от 2,5 до 3,1 имеются уже хорошо заметные вяжущие свойства, причем увеличению их удельного веса соответствует повышение прочности на сжатие. Фракции с удельным весом 3,1 до 3,3 обладают хорошими вяжущими свойствами: прочность их на сжатие в два раза больше, чем у раствора из фракции циклонной золы <60 μ .

Для фракции $\gamma > 3,3$ прочность на сжатие снова понижается, что обусловлено значительным количеством находящейся в этой фракции магнитной окиси железа.

На основании полученных результатов циклонную золу, добываемую из топок пылевидного сжигания горючего сланца, можно разделить на три части, которые значительно отличаются между собой по вяжущим свойствам.

1-я часть (удельный вес <2,5 г/см³) вяжущими свойствами не обладает. Эта фракция в исследованной пробе составляла 21,5%.

2-я часть (удельный вес от 2,5 до 3,1 г/см³) обладает умеренными вяжущими свойствами. В исследованной пробе эта фракция составляла 64,6%.

3-я часть (удельный вес свыше 3,1 г/см³) обладает сильными вяжущими свойствами. В исследованной пробе она составляла 13,9%.

Выводы

1. Летучая зола топок пылевидного сжигания состоит из фракций, сильно различающихся по свойствам. В золе содержатся

частицы с удельным весом ниже $2,40 \text{ г/см}^3$, от $2,40$ до $3,30 \text{ г/см}^3$ и свыше $3,30 \text{ г/см}^3$.

2. Легкие фракции ($\gamma < 2,40 \text{ г/см}^3$) содержат $\sim 54\% \text{ SiO}_2$, $\sim 14\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ и $\sim 9\% \text{ K}_2\text{O}$, что превышает средние показатели, соответственно, в 1,7, 1,6 и 2,8 раза. Гидро модуль фракций равен 0,17, что в 4,6 раза меньше средней величины. Эти фракции практически не обладают вяжущими свойствами и представляют собой гидравлическую добавку, которая на 70% состоит из кислотных соединений. Испытания на поглощение извести показали, что измельченный вручную образец связывает около 110 мг/г извести.

С увеличением удельного веса золы увеличивается и гидро модуль. Гидро модуль фракций с удельным весом $\gamma = 2,40 - 3,00 \text{ г/см}^3$ изменяется в пределах, соответственно, от 0,19 до 1,60. Вяжущая активность упомянутых фракций составляет $\sim 60\%$ от активности циклонной золы. Более тяжелые фракции ($\gamma > 3,00 \text{ г/см}^3$) содержат менее 20% SiO_2 и более 50% CaO , и гидро модуль их находится в пределах от 1,9 до 2,3.

3. Наилучшими вяжущими свойствами обладает фракция с удельным весом от $3,10$ до $3,30 \text{ г/см}^3$, количество которой в золе $\sim 10\%$. Содержание связанного с глинистыми веществами CaO составляет $\sim 25\%$, что превышает средний показатель в 1,4 раза. Активность этой фракции более чем в два раза превышает активность циклонной золы в целом.

Более тяжелые фракции ($\gamma > 3,30 \text{ г/см}^3$) содержат $\sim 39\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$. Количество упомянутой фракции составляет $\sim 5\%$.

4. Кроме того, отдельные фракции резко отличаются по содержанию свободной извести. Наиболее легкая фракция ($\gamma < 2,40 \text{ г/см}^3$), состоящая из мелких частиц ($< 60 \mu$), не содержит свободной извести. Тяжелые фракции ($\gamma = 3,10 - 3,30 \text{ г/см}^3$), состоящие из более крупных частиц ($> 60 \mu$), содержат около 50% свободной извести, что в 3,5 раза превышает ее среднее содержание в циклонной золе.

5. При улавливании золы-уноса в мультициклонах происходит ее фракционирование в соответствии с «аэродинамическим диаметром зерен», зависящим от величины зерна и его удельного веса. Принимая во внимание большие различия в крупности и в удельном весе зерен при улавливании в мультициклонах, летучая зола должна разделяться на фракции. Эти отдельные фракции могут быть использованы более рационально, чем нефракционированная зола-унос.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ ТВЕРДЕНИЯ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

В. Х. КИКАС

Различные сланцезольные вяжущие, как обыкновенный кукермит и особенно гидравлический кукермит, обладают большой активностью. С точки зрения прочности их можно применять для изготовления строительных растворов и бетонов.

Однако указанные вяжущие имеют ряд существенных недостатков, которые препятствуют их более широкому применению.

Часто обыкновенный кукермит схватывается и твердеет очень медленно и при этом не обладает водостойкостью. Гидравлический кукермит обычно схватывается достаточно быстро, но в возрасте до 7—10 дней твердеет очень медленно. В этом возрасте гидравлический кукермит неводостоек, изготовленные из него изделия полностью разрушаются в воде.

Относительная прочность * гидравлического кукермита на 7-й день твердения при $+20^{\circ}$ составляет в среднем всего 0,10.

Скорость твердения вяжущего, как физико-химический процесс, зависит в значительной мере от температуры. Для целесообразного и сознательного использования вяжущих необходимо знать степень зависимости скорости твердения от температуры.

Рассмотрим процесс твердения при температурах $+1^{\circ}$, $+10^{\circ}$, $+20^{\circ}$ и $+30^{\circ}$ обыкновенного кукермита, улучшенного (глинитом) обыкновенного кукермита, гидравлического кукермита, улучшенного (трепелом) гидравлического кукермита и вяжущих из летучей золы топок с кипящим слоем.

Во время испытаний выяснилось, что большинство вяжущих при низких температурах твердеют очень медленно. Это обстоятельство является серьезным препятствием при работах, проводимых ранней весной и поздней осенью. Для устранения указанного недостатка свойства сланцезольных вяжущих были улучшены применением различных добавок (цемент, NaCl , CaCl_2 , AlCl_3 и хлорная известь).

Кроме того, были определены скорости твердения при различных температурах цементов завода «Пунане Кунда» и Подольского завода.

Методика испытаний

Скорость твердения сланцезольных вяжущих оценивалась в основном на основании изменения прочности кубиков размером

* По отношению к прочности через 28 дней твердения при 20° (примечание редактора).

4×4×4 см, изготовленных из пластичного раствора 1:3 (вяжущее: вольский песок). Использовался также раствор 1:4. Образцы хранились в насыщенной водяными парами среде или в воде. Необходимая температура среды поддерживалась электрообогревом. Для ее регулирования применялся контактный термометр и реле. Постоянная температура в помещении достигалась при помощи вентиляции. Максимальное отклонение температуры от заданной не превышало +0,5°.

Результаты испытаний

ОБЫКНОВЕННЫЙ ЦЕМЕНТ ЗАВОДА «ПУНАНЕ КУНДА» И МАГНЕЗИАЛЬНЫЙ ЦЕМЕНТ ПОДОЛЬСКОГО ЗАВОДА

Прочность обыкновенного цемента в 28-дневном возрасте составляет 430 кг/см² и магнезиального цемента — 329 кг/см².

Быстрота твердения обыкновенного цемента определялась в течение 56 дней при температурах +1°, +10° и +20° (табл. 1).

Таблица 1

Обыкновенный цемент завода «Пунане Кунда»
 $R_{28}=430$ кг/см²

Время твердения раствора в сутках	Относительная прочность раствора при средней температуре твердения			
	+1°	+10°	+20°	+30°
3	0,20	0,36	0,50	—
5	0,38	0,48	0,58	—
7	0,46	0,58	0,68	—
10	0,55	0,66	0,77	—
14	0,64	0,78	0,86	—
17	0,66	0,82	0,88	—
21	0,70	0,86	0,92	—
28	0,78	0,94	1,00	—
56	0,82	1,09	1,13	—

Таблица 2

Магнезиальный цемент Подольского завода
 $R_{28}=329$ кг/см²

Время твердения раствора в сутках	Относительная прочность раствора при средней температуре твердения			
	+1°	+10°	+20°	+30°
2	0,04	0,16	0,24	0,35
3	0,10	0,23	0,35	0,50
5	0,18	0,32	0,50	0,66
7	0,24	0,40	0,61	0,73
10	0,32	0,52	0,70	0,85
14	0,46	0,62	0,84	0,98
17	0,52	0,70	0,88	1,08
21	0,60	0,76	0,94	1,14
28	0,70	0,82	1,00	1,22

Твердение магнезиального цемента происходило при температурах $+1^{\circ}$, $+10^{\circ}$, $+20^{\circ}$ и $+30^{\circ}$; продолжительность опыта до 28 дней (табл. 2).

Из таблиц 1 и 2 видно, что обыкновенный цемент твердеет значительно быстрее, чем магнезиальный цемент. Относительная прочность обыкновенного цемента при $+20^{\circ}$ на 3-й, 5-й, 7-й, 10-й и 14-й день составляет 0,50, 0,58, 0,68, 0,77 и 0,86; относительная прочность магнезиального цемента, соответственно, 0,35, 0,50, 0,61, 0,70 и 0,84. Относительная прочность магнезиального цемента в процессе твердения при $+20^{\circ}$ меньше, чем у обыкновенного цемента. Кроме того, при понижении температуры на 10° длительность твердения магнезиального цемента увеличивается в 1,8 раза, вместо 1,6 раза при обыкновенном цементе.

ОБЫКНОВЕННЫЙ КУКЕРМИТ

Из представленных на рис. 1 данных испытаний видно, что обыкновенный кукурмит является медленно твердеющим вяжущим. Относительная прочность его при $+20^{\circ}$ на 5-й, 7-й, 10-й, 14-й и 21-й день составляет 0,18, 0,23, 0,34, 0,42 и 0,70. Средний коэффициент изменения скорости твердения при изменении температуры на 10° составляет 1,9 с отклонениями от 1,6 до 2,4. Относительная прочность обыкновенного кукурмита при $+1^{\circ}$ и $+10^{\circ}$ на 28-й день составляет лишь 0,19 и 0,43. Соответствующие величины у обыкновенного и магнезиального цементов (0,78, 0,94) и (0,70, 0,82) значительно выше, чем у кукурмита.

Употребление обыкновенного кукурмита как вяжущего для растворов при низких температурах затруднительно из-за очень медленного твердения. Ускорить процесс твердения можно путем добавок обыкновенного цемента (10, 20 и 30%) (рис. 1).

Из полученных результатов видно, что уже 10% добавкой цемента можно значительно увеличить относительную прочность раствора: твердеющее при $+1^{\circ}$ и $+10^{\circ}$ вяжущее на 28-й день имеет относительную прочность 0,59 и 0,66. Если же относительную прочность взять по отношению к обыкновенному кукурмиту (без добавок цемента), то получим соответствующие цифры 1,10 и 1,23. Это означает, что 10% добавка цемента настолько ускоряет скорость твердения сланцезольного цемента, что относительная прочность, получаемая в процессе твердения при $+1^{\circ}$, больше, чем при $+20^{\circ}$ без добавки цемента. Относительная прочность обыкновенного кукурмита (0,20) достигается 10% добавкой цемента уже в течение трех дней. При добавках 20 и 30% цемента твердение сланцезольного цемента еще больше ускоряется; в этом случае относительные прочности обыкновенного кукурмита при температуре твердения $+1^{\circ}$ составляют, соответственно, 1,93 и 2,22.

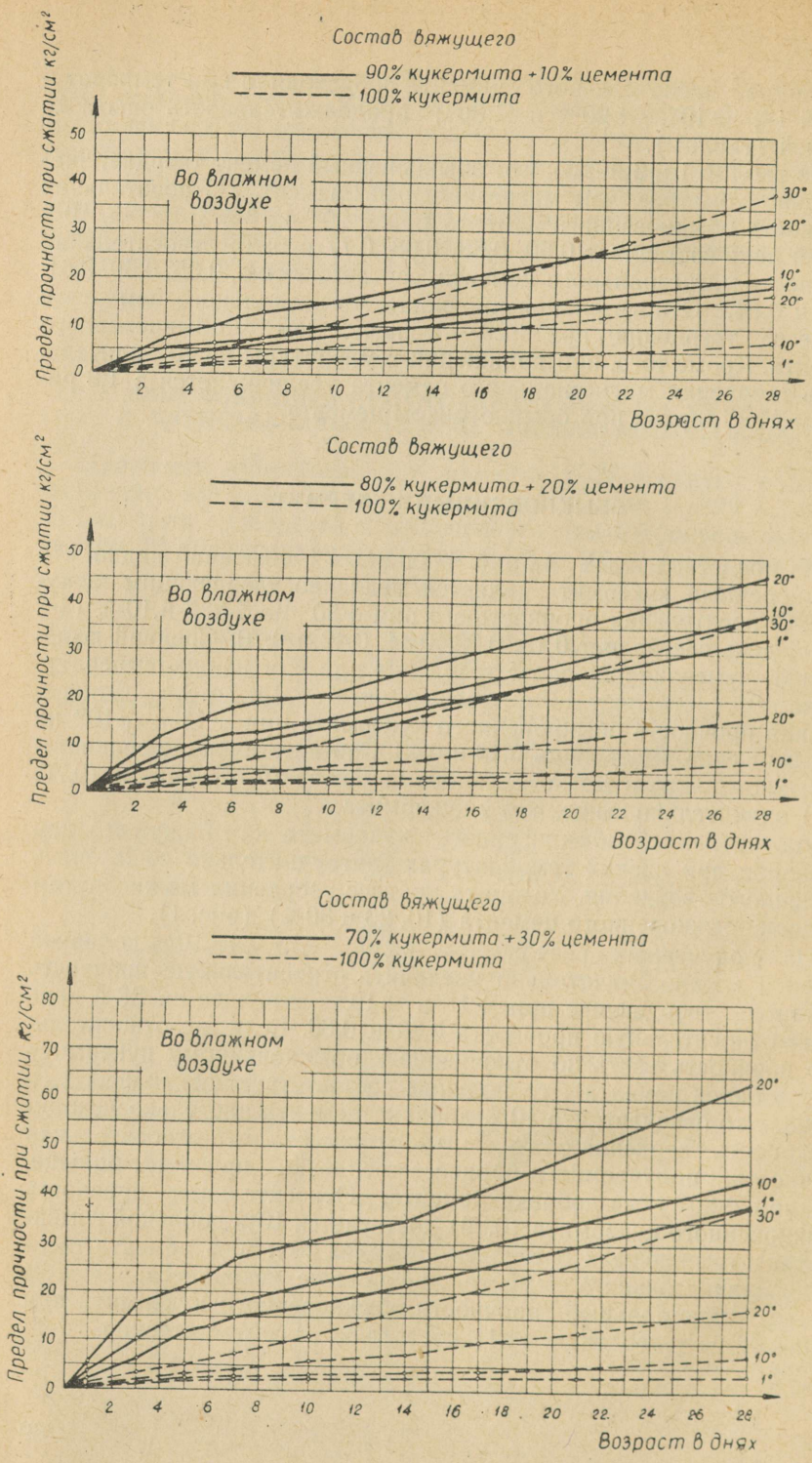


Рис. 1. Влияние добавки цемента на скорость твердения обыкновенного кукуермита при разных температурах.

КУКЕРМИТ ОБЫКНОВЕННЫЙ, УЛУЧШЕННЫЙ

Названное вяжущее было получено на заводе «Кукермит» путем помола золы решеточных топок с 30% добавкой глиниста. Скорость твердения оценивалась по пластичному раствору 1:4 (вяжущее: вольский песок).

Результаты испытания представлены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние температуры на скорость твердения улучшенного
обыкновенного кукермита

Время твердения раствора в сутках	Прочность на сжатие в кг/см ² при температуре твердения		
	+2°	+10°	+20°
5	—	—	5,7
7	—	2,6	9,9
10	—	4,6	16,2
12	1,8	—	—
14	2,1	6,4	21,0
17	2,6	8,2	—
21	3,6	10,2	27,0
28	5,1	16,1	31,0

Из приведенных результатов испытаний следует, что улучшенный глинистом обыкновенный кукермит твердеет при +20° быстрее, чем обыкновенный кукермит без добавок. Относительные прочности на 7-й и 14-день, соответственно, 0,32, 0,68 и 0,23, 0,45.

Средний коэффициент изменения скорости твердения улучшенного кукермита при изменении температуры на 10° значительно больше (2,6), чем у обыкновенного кукермита (1,9). Вследствие этого относительная прочность улучшенного вяжущего при +2° ниже, чем прочность обыкновенного кукермита при +1°; на 14-й и 28-й день соответствующие показатели будут 0,07, 0,16 и 0,15, 0,19. Даже при +10° улучшенное глинистом вяжущее твердеет до 10-дневного возраста медленнее, чем обыкновенное вяжущее. К сожалению, указанные результаты не вполне сравнимы, так как раствор из улучшенного вяжущего имел состав 1:4, а раствор из обыкновенного вяжущего — 1:3. Процесс твердения улучшенного обыкновенного кукермита при низких температурах можно ускорить добавками цемента.

Твердение улучшенного глинистом кукермита при 30% добавке цемента протекает согласно данным, приведенным в таблице 4.

Из приведенных данных видно, что 30% добавка цемента ускоряет процесс твердения при +2° настолько, что относительная прочность вяжущего на 28-й день составляет 0,54, т. е. превышает более чем в три раза относительную прочность вяжущего

Таблица 4

Влияние добавки цемента на твердение кукурмита обыкновенного улучшенного (30% глиниста) при различных температурах

Время твердения раствора в сутках	Прочность раствора на сжатие в кг/см ² при температуре твердения		
	+2°	+10°	+20°
2	2,0	5,0	9,6
3	3,0	6,5	14,8
4	4,1	8,4	20,0
5	5,2	10,5	25,0
6	6,2	13,0	29,0
7	7,5	16,0	33,0
14	16,0	25,0	39,0
28	28,0	38,0	52,0

без добавки цемента; 20% прочность раствора на базе кукурмита обыкновенного улучшенного достигается при +20° и при добавке цемента уже в течение шести дней.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ КУКУРМИТ

В качестве исходного материала были взяты циклонные золы из топок пылевидного сжигания в Кохтла-Ярве при двух нагрузках котла — 30 и 47 тонн пара в час. Гидравлический кукурмит изготовлен из этих циклонных зол в лаборатории путем помола или путем гашения и помола. Исследовались четыре образца гидравлического кукурмита.

Результаты испытаний частично представлены на рис. 2, который показывает что в начальный период твердения (в среднем до 7 дней) относительная прочность достигает лишь 0,10. В зависимости от температуры твердения меняется длительность указанного начального периода: при повышении температуры укорачивается, при понижении — удлиняется.

Общий средний коэффициент изменения скорости твердения гидравлического кукурмита несколько превышает 2,1. Этот коэффициент колеблется в пределах от 1,7 до 3,4, не превышая в основном 2,6.

Ввиду того, что в процессе твердения при +20° в течение первых семи дней раствор, изготовленный из гидравлического кукурмита, достигает в среднем лишь 0,10 от 28-дневной прочности и средний коэффициент изменения скорости твердения при изменении температуры на 10° составляет 2,1, раствор, изготовленный из вышеуказанного вяжущего, обладает малой прочностью на 14-й и 28-й день твердения при температуре +10° и +1°. На основании приведенных на рис. 2 данных можно сделать вывод, что прочность указанных четырех проб вяжущих при +20° на

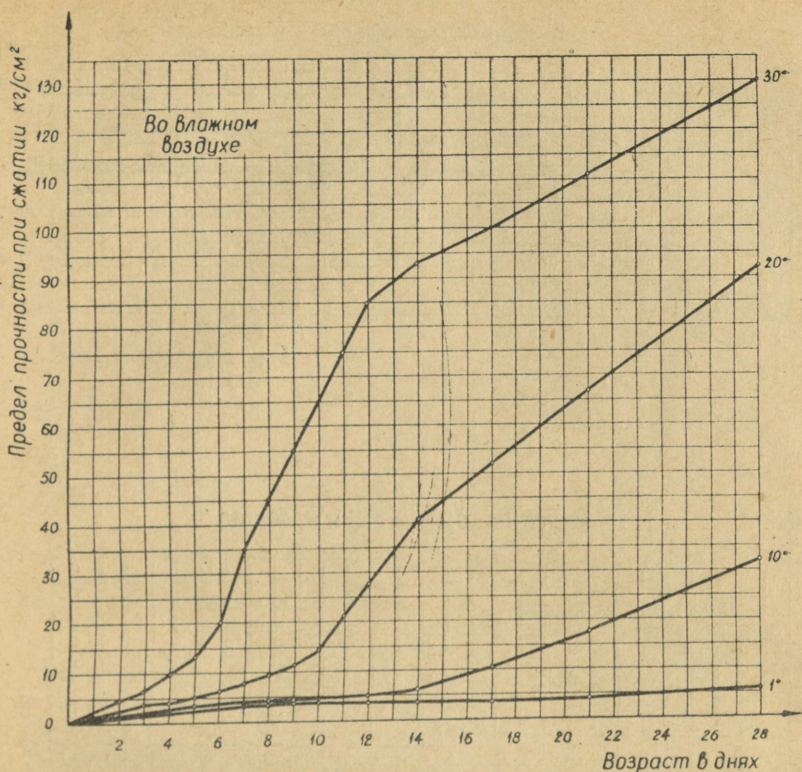


Рис. 2. Скорость твердения гидравлического кукуермита при разных температурах.

7-й день составляет от 7,8 до 18,0 кг/см², при +10° на 14-й день — от 6,2 до 21 кг/см² и при +1° на 28-й день — от 5,9 до 17,0 кг/см². Относительные прочности при +1° и +10° через 28 дней составляют от 0,06 до 0,12 и от 0,35 до 0,42, т. е. уступают даже соответствующим показателям кукуермита обыкновенного.

Раствор гидравлического кукуермита в раннем возрасте твердеет очень медленно и в то же время сильно разбухает. Понижение температуры удлиняет время разбухания (рис. 3).

Разбухание образцов № 1 при температурах +30°, +20°, +10° и +1° происходит в течение 5, 8, 14 и 28 дней, а образцов № 2 при тех же температурах в течение 4, 8, 12 и 23 дней. Отсюда следует, что разбухание раствора при низких температурах (ниже +10°) продолжается до 28 дней. Более быстро разбухают образцы, изготовленные из циклонной золы, полученной при более высоких нагрузках котла или из золы, гашенной водой.

Указанные недостатки гидравлического кукуермита затрудняют

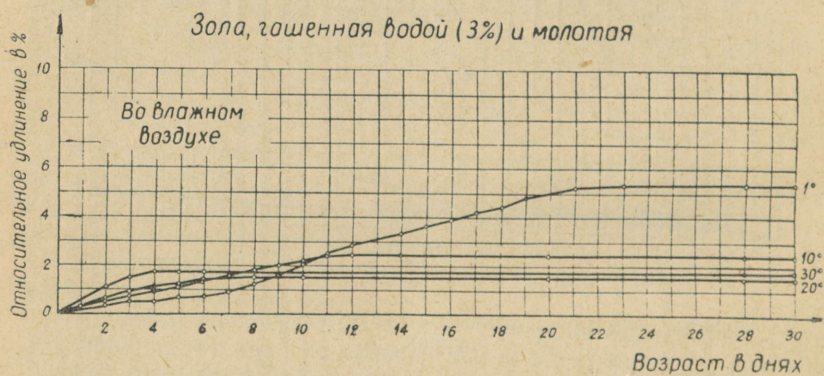
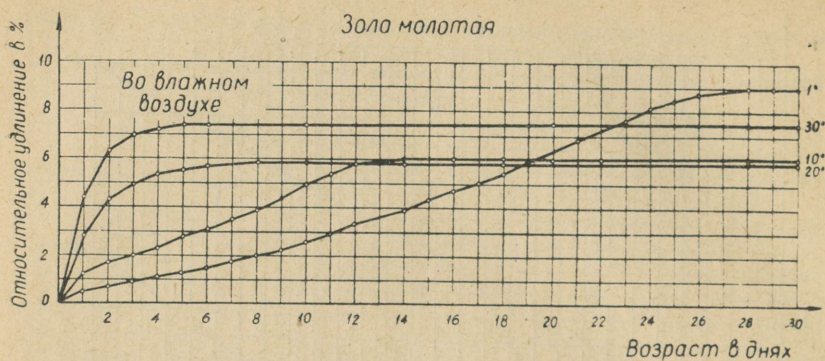


Рис. 3. Разбухание раствора из гидравлического кукурмита при разных температурах твердения.

его использование при температурах ниже $+10^{\circ}$. Скорость твердения гидравлического кукурмита пытались улучшить добавками цемента (10, 20 и 30%) или трепела (10, 20 и 30%). Результаты этих испытаний приведены на рис. 4а, 4б и 4в.

Чем больше количество добавляемого трепела и чем выше температура, тем короче начальный период твердения (т. е. область, где прочность раствора растет чрезвычайно медленно). При малом количестве добавки и низкой температуре ($+1^{\circ}$) влияние трепела на скорость твердения незначительно.

Несмотря на то, что при добавке цемента прочность сланцезольного вяжущего через 28 дней иногда падает, можно все же рекомендовать цемент как добавку, так как он значительно повышает прочность сланцезольных вяжущих при низких температурах в первые дни твердения.

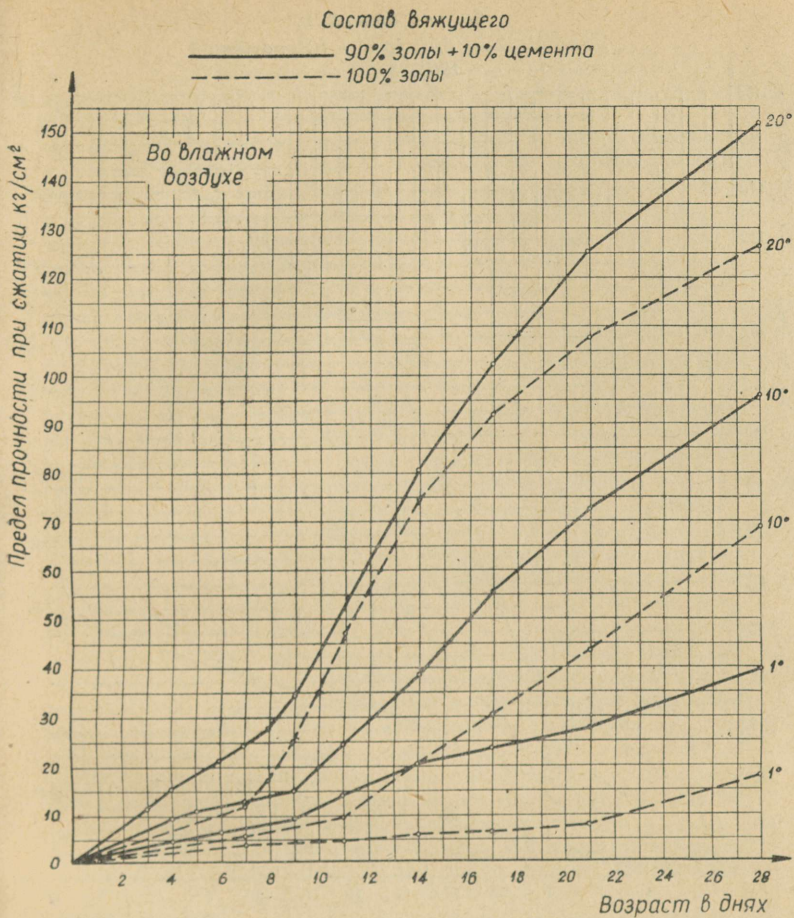


Рис. 4а. Влияние добавки цемента на скорость твердения гидравлического кукурмита при разных температурах.

Относительная прочность вяжущего, улучшенного добавками цемента (10, 20 и 30%), при температуре твердения $+1^{\circ}$ превышает прочность неулучшенного кукурмита гидравлического, соответственно, в 1,7, 3,7 и 5,7 раза, а при добавке трепела во всех случаях в 1,3 раза. Средний коэффициент изменения скорости твердения улучшенного гидравлического кукурмита (зола, молотая с 20% трепела) составляет 2,0, что меньше коэффициента гидравлического кукурмита. Кроме влияния добавок цемента и трепела, изучалось влияние добавок NaCl , CaCl_2 , AlCl_3 и хлорной извести на скорость твердения кукурмита гидравлического. Применялась 5% добавка хлоридов; хлорную известь употребляли в качестве раствора с удельным весом $\gamma = 1,07 \text{ г/см}^3$.

Наиболее эффективной при низких температурах в начальном

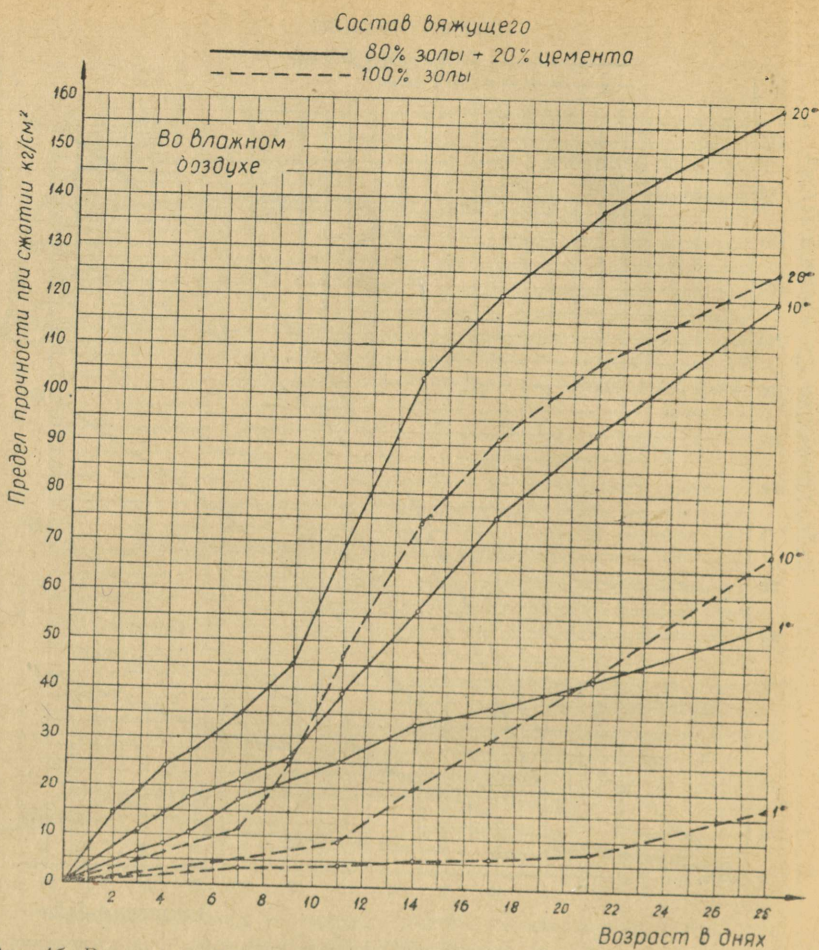


Рис. 46. Влияние добавки цемента на скорость твердения гидравлического кукермита при разных температурах.

периоде твердения оказалась хлорная известь. Относительная прочность раствора на 7-й день при $+1^\circ$ и $+10^\circ$ составляет 0,14 и 0,18, что значительно превышает показатели эталона (0,05 и 0,05). Почти такой же эффект дает 20% добавка цемента. На 14-й день относительная прочность раствора с добавкой хлорной извести составляет от 0,18 до 0,30 и у эталона, соответственно, 0,07 и 0,14. Таким образом, хлорная известь оказывает здесь еще значительный эффект.

При более высоких температурах и более старших возрастах образцов относительная прочность раствора с добавкой хлорной извести уступает прочности эталона. Например, относительная прочность раствора с добавкой хлорной извести при $+10^\circ$ и $+20^\circ$

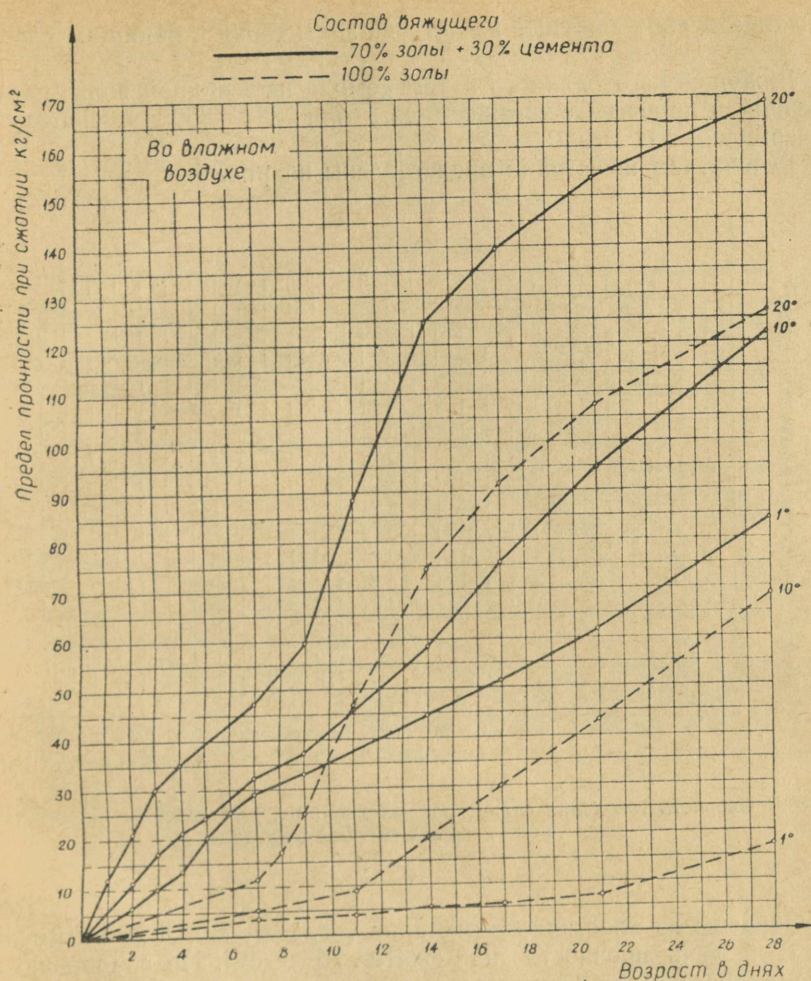


Рис. 4в. Влияние добавки цемента на скорость твердения гидравлического кукермита при разных температурах.

на 28-й день составляет 0,42 и 0,97, а прочность эталона, соответственно, 0,46 и 1,00.

Добавки CaCl_2 и AlCl_3 при низких температурах в начале твердения увеличивают относительную прочность раствора меньше, чем хлорная известь. При более высоких температурах и более старших возрастах добавки CaCl_2 и AlCl_3 эффективнее хлорной извести. Положительное влияние добавки NaCl при низких температурах и малом возрасте ничтожно, при старших возрастах даже отрицательное. Из этого видно, что NaCl является неэффективной добавкой.

Сланцезольное вяжущее из летучей золы топки с кипящим слоем

Вяжущее изготовлялось путем помола пылевидной золы, полученной в процессе сжигания кокса при $800-850^{\circ}$ в Институте энергетики АН ЭССР.

Результаты испытаний представлены на рис. 5.

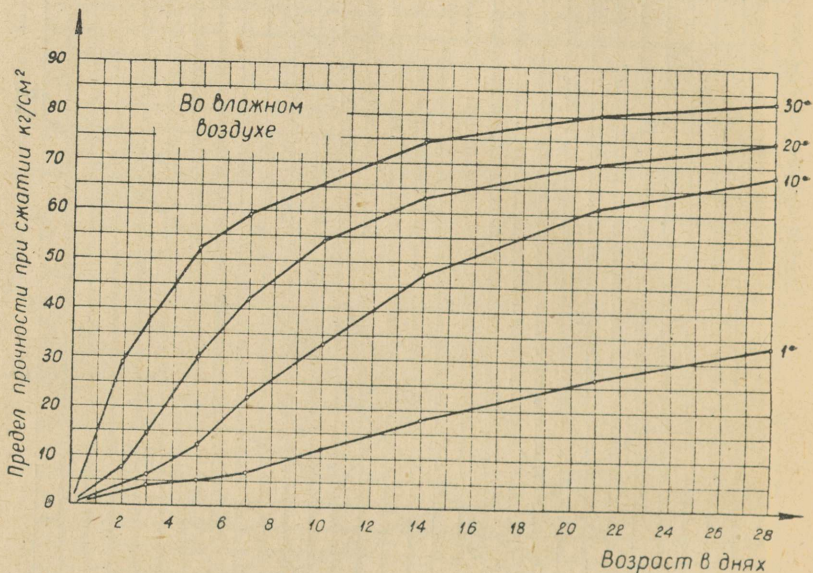


Рис. 5. Скорость твердения сланцезольных-вяжущих, изготовленных из летучей золы топок с кипящим слоем сжигания.

Образцы из пластичного раствора твердели при $+20^{\circ}$ и имели на 28-й день прочность на сжатие 75 кг/см^2 . По сравнению с гидравлическим кукуермитом полученная прочность составляет лишь 60%. Относительная прочность при $+20^{\circ}$ на 7-й день составляет 0,56, т. е. незначительно отличается от соответствующей прочности цемента. Даже относительная прочность на 3-й день (0,19) почти в два раза превышает прочность гидравлического кукуермита на 7-й день.

Средний коэффициент изменения скорости твердения при изменении температуры на 10° составляет 2,0.

Относительная прочность раствора данного вяжущего при низких температурах значительно больше прочности других сланцезольных вяжущих. Например, относительная прочность раствора при температуре твердения $+1^{\circ}$ на 7-й день составляет 0,09, т. е. не уступает прочности гидравлического кукуермита при $+20^{\circ}$. При температурах твердения $+1^{\circ}$ и $+10^{\circ}$ относительная прочность

на 28-й день составляет 0,44 и 0,91, что превышает прочность обыкновенного и гидравлического кукуермита, соответственно, от 2,3 до 7,3 и от 2,1 до 2,6 раза.

Быстрое твердение рассматриваемого вяжущего обусловливается низкой температурой сжигания кокса.

Такое вяжущее с успехом можно использовать в растворах при температурах, близких к 0° .

Выводы

1. Твердение растворов на сланцезольных вяжущих характеризуется медленным нарастанием прочности. Так, например, растворы, изготовленные на гидравлическом кукуермите, набирают к 7-дневному возрасту в среднем только 0,10 от 28-дневной прочности.

2. Медленное твердение сланцезольных вяжущих в начальном периоде обусловлено содержанием в них сравнительно большого количества пережженной свободной извести. Гидратация этой извести препятствует возникновению прочного монолита.

3. Скорость твердения растворов на сланцезольных вяжущих находится в прямой зависимости от температуры: изменению температуры на 10° соответствует замедление или ускорение срока твердения примерно в два раза.

4. Твердение сланцезольных вяжущих при пониженных температурах ($0-5^{\circ}$) можно значительно ускорить добавкой 20—30% обыкновенного цемента. В меньшей мере ускоряют твердение вяжущих добавки трепела, хлористого кальция, хлорной извести и др.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБЖИГА НА СВОЙСТВА СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

В. Х. КИКАС

Зола горячего сланца-кукерсита, остающаяся в топках после сжигания, обладает хорошими вяжущими свойствами: из нее можно изготовлять ценные местные строительные материалы.

Лабораторные исследования показали, что и скорость твердения, и марка у различных сланцезольных вяжущих могут отличаться между собой в пределах до 10 раз. Это обстоятельство может быть большим препятствием для широкого использования данных вяжущих в строительстве, если не изучить факторы, обуславливающие эти значительные колебания.

Задачей настоящего исследования является выяснение свойств кукерситовых зол, получаемых из топок крупных промышленных или полупромышленных предприятий, в зависимости главным образом от продолжительности обжига и температуры. Необходимо еще отметить, что неодинаковая продолжительность обжига ведет к различию в размерах кусков сжигаемого сланца и к изменению химического состава золы.

Объектами исследования были золы следующих топок:

- 1) крупная зола с решетки и улавливаемая в мультициклонах мелкая, так называемая летучая зола колосниковой топки;
- 2) крупная зола, падающая под топку, и улавливаемая в мультициклонах мелкая, так называемая летучая зола топок пылевидного сжигания;
- 3) крупная зола из генератора и улавливаемая в мультициклонах мелкая, так называемая летучая зола топки с кипящим слоем.

Таким образом, исследованию подверглись партии золы шести разновидностей.

Вяжущие свойства крупных и мелких зол

В таблице 1 приведены данные о крупных и мелких золах, которые в дальнейшем будут называться топочными и летучими золами.

Из данных таблицы 1 видно, что топочные золы значительно грубее летучих зол. Температура обжига топочных зол ниже, но время обжига большей частью продолжительнее, чем для летучих зол. Внимания заслуживает и то обстоятельство, что гидромодуль летучей золы приблизительно в 1,7 раза меньше, чем со-

Вид и местонахождение топки	Вид золы	Температура обжига в °С (ориентировочно)	Продолжительность обжига	Отверстие сита в мм				Потери при накаливании в %	Гидро-модуль	Количество СаО связанное с глинистой частью в %	Свободная СаО в %
				5,0	0,20	0,09	0,06				
				Проходит через сито в %							
Колосниковая топка	Легучая зола	1100—1200	3—4 сек.	100	87,5	50,0	33,0	2,6	—	—	13,2
	Топочная зола	1000—1100	30—50 мин.	74,6	22,4	6,9	—	5,6	0,92	—	9,6
Топка пылевидного сжигания, Кохтла-Ярве	Легучая зола	1200—1300	3—4 сек.	100	96,4	82,2	70,1	2,2	0,73	20,6	13,7
	Топочная зола	900—1200	~ 2 сек.	97,4	26,4	9,1	4,6	12,3	1,24	15,2	12,0
Топка с кипящим слоем, Институт энергетики АН ЭССР	Легучая зола	800—830	~ 2 сек.	100	59,1	38,8	29,4	—	0,64*	—	—
	Топочная зола	730—750	10—15 мин.	100	6,4	1,8	1,2	—	1,16*	—	—

* Данные из отчета Х. Я. Мяндретса, Институт строительства и строительных материалов АН ЭССР, 1953.

Таблица 2

Вид и местонахождение топки	Вид золы	Прочность на сжатие в кг/см ²								$\frac{R_7}{R_{28}}$	$\frac{R_{14}}{R_{28}}$	$\frac{R_7 \text{ в воде}}{R_{28} \text{ на воздухе}}$	
		в среде, насыщенной парами воды, через					при хранении в воде в возрасте 28 дней после выдержки на воздухе в течение						
		3 дня	7 дней	10 дней	14 дней	28 дней	3 дня	5 дней	7 дней				14 дней
Колосниковая топка	Летучая зола	7,7	43	71	92	156	96	117	128	139	0,28	0,59	0,82
	Топочная зола	5,2	10,5	15,0	20	39	13,4*	—	24	38	0,27	0,51	0,62
Топка пылевидного сжигания, Кохтла-Ярве	Летучая зола	—	10,0	32	55	95	—	—	85	85	0,10	0,58	0,90
	Топочная зола	—	5,1	7,1	11,0	42	—	—	18	25	0,12	0,26	0,43
Топка с кипящим слоем Институт энергетики АН ЭССР	Летучая зола	18,2	52	58	68	87	64	74	78	—	0,60	0,78	0,90
	Топочная зола	5,4	7,6	8,2	10,1	16,7	разрушились		—	—	0,46	0,60	0,00

* Образцы с трещинами.

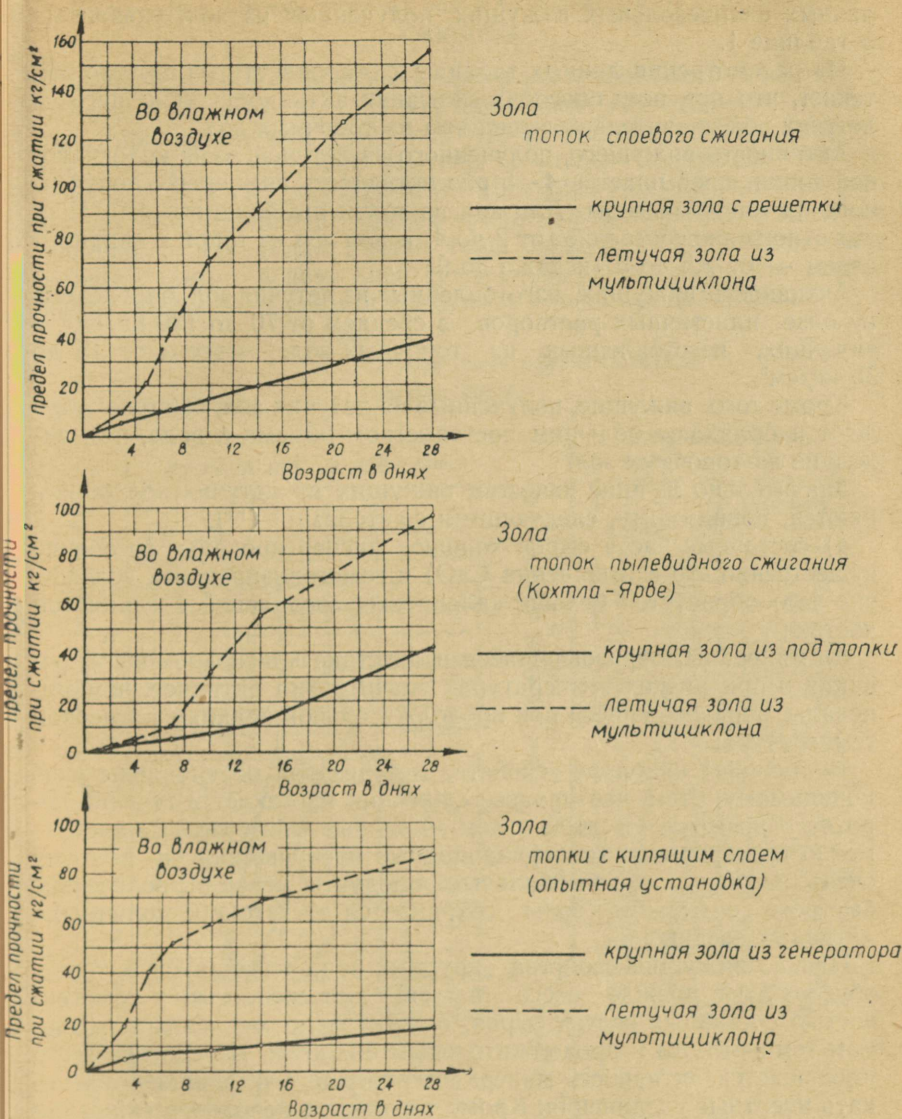


Рис. 1. Активность и скорость твердения различных сланцевольных вяжущих. Вяжущее — зола, размолотая в лабораторной мельнице. Образцы из пластичного раствора 1:3 (вяжущее: вольский песок), кубики 4×4×4 см.

ответствующей топочной золы. Несмотря на это, в летучей золе топок пылевидного сжигания количество CaO , связанной с глинистой частью, примерно в 1,35 раза выше, чем в топочной золе.

В таблице 2 и на рис. 1 приведены данные об активности раз-

личных сланцезольных вяжущих, полученных из зол, указанных в таблице 1.

Из рассмотрения данных таблицы 2 о прочности на сжатие вытекает, что при всех способах сжигания активность вяжущего из летучих зол значительно выше, чем из топочных зол.

Активность вяжущего, полученного из летучей золы колосниковой топки, превышает в 4—5 раз активность вяжущего, полученного из топочной золы. Для зол из топок пылевидного сжигания это отношение составляет от 2 до 4, а для зол из топок с кипящим слоем — от 2,5 до 5 (и даже до 9).

Активность вяжущих, изготовленных из летучих зол, определена на базе пластичных растворов в среднем от 70 до 130 кг/см², а вяжущих, изготовленных из топочных зол, — всего от 15 до 35 кг/см².

Кроме того, вяжущие, полученные из летучих зол, быстрее твердеют и обладают большим постоянством объема в воде, чем вяжущие из топочных зол.

Значительно лучшие качества вяжущих из летучих зол объясняются, повидимому, следующими факторами (1,5)

а) составные части сырья хорошо диспергированы (особенно существенно это в отношении СаО) и гомогенизированы, вследствие чего образуется больше кальциевых соединений с глинистой частью;

б) минералы, образовавшиеся вследствие кратковременной реакции и при низких температурах значительно активнее, чем минералы, образовавшиеся при продолжительной реакции и высокой температуре;

в) лучшие вяжущие свойства летучих зол обусловлены еще, повидимому, тем, что процесс сжигания протекает в течение короткого времени, в связи с чем составные части сырья одновременно претерпевают модификационные превращения и поэтому очень активны, давая обильные продукты реакции; вследствие быстрого остывания золы сохраняется достаточное количество активных соединений.

Низкие вяжущие свойства крупных зол, оставшихся в топке, обусловлены прежде всего плохой дисперсностью и гомогенностью составных частей сырья, относительно медленным подъемом температуры и продолжительным обжигом. Вследствие этого уменьшается активность минералов вяжущего и начинают возникать инертные соединения. Кроме того, из-за неполного сжигания топочные золы часто содержат кокс, который особенно понижает водо- и морозостойкость вяжущего.

Вязущие свойства летучих зол в зависимости от температуры сжигания

Минералы гидравлического вяжущего и свободная известь, полученные обжигом летучих зол при низкой температуре (в опытной топке с кипящим слоем при 800°), обладают большой активностью, вследствие чего раствор из такого вяжущего быстро твердеет — $R_7/R_{28} \approx 0,50-0,60$. При этом раствор почти не разбухает, т. е. увеличение объема крайне незначительно, и линейное удлинение составляет всего лишь $0,4\%$ (рис. 2б). Образцы в возрасте одного и двух дней, помещенные в воду, заметно разбухают, пробы же 4-дневного возраста в воде не разбухают.

Зола

топок пылевидного сжигания
(Кохтла - Ярве)

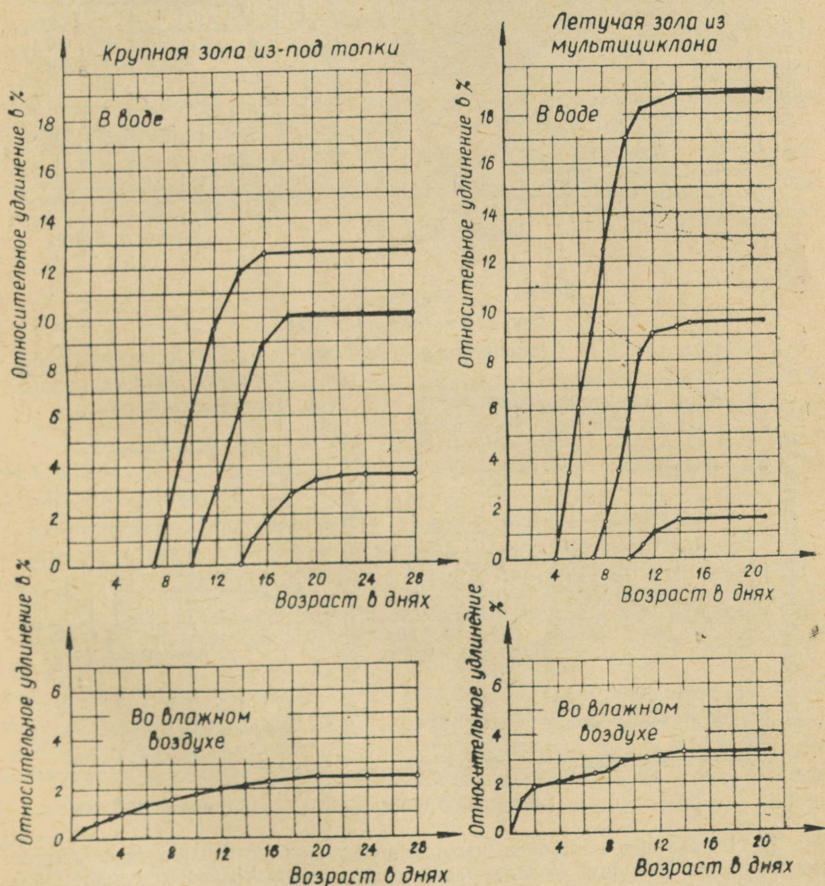


Рис. 2а. Разбухание растворов, изготовленных из золы топок пылевидного сжигания (см. текст к рис. 2б).

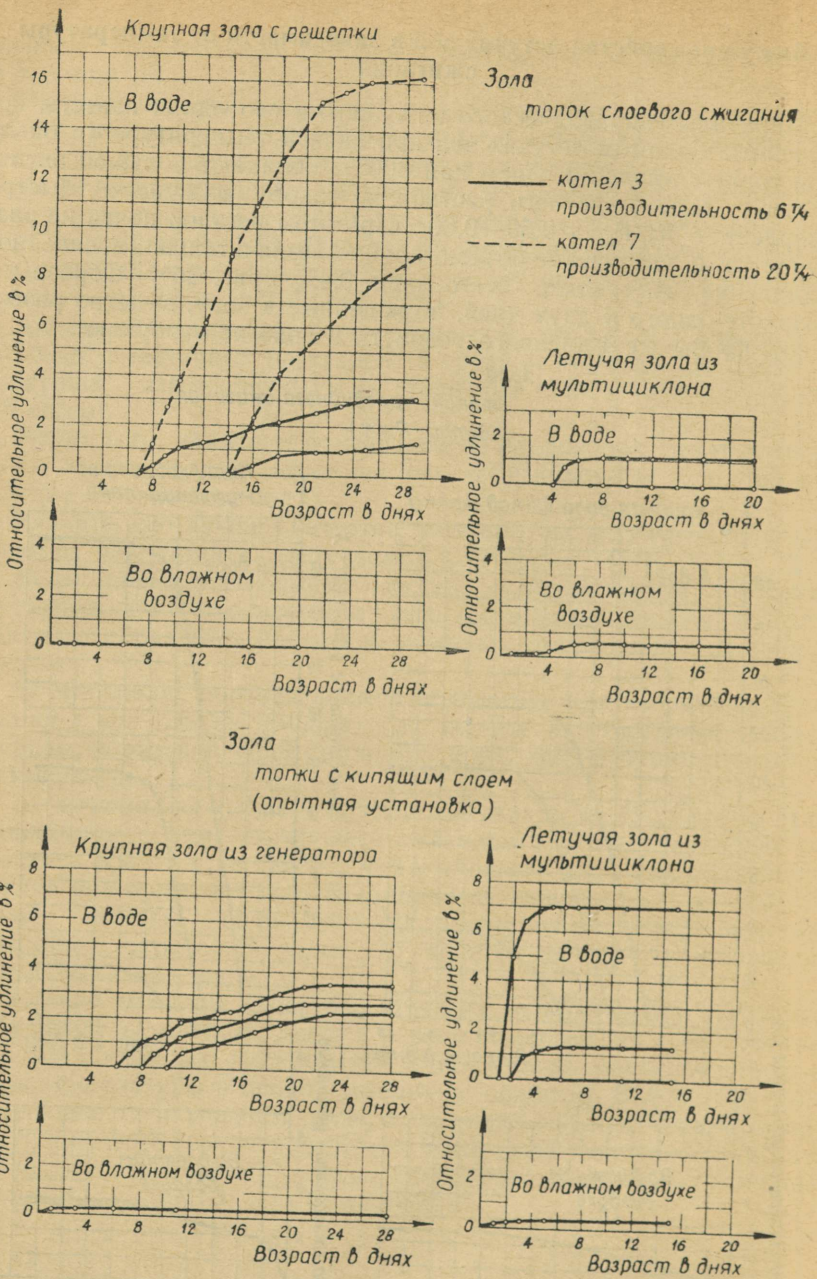


Рис. 26. Разбухание растворов, изготовленных на базе различных сланцезольных вяжущих. Вяжущее — зола, размолотая в лабораторной мельнице. Образцы из пластичного раствора 1:3 (вяжущее: вольский песок); цилиндрики $h = \varnothing 30$ мм.

Минералы вяжущего, полученные обжигом летучей золы при высокой температуре ($1100\text{--}1200^\circ$) в колосниковых топках, обладают значительно меньшей активностью. Вяжущее, изготовленное из этих летучих зол, твердеет значительно медленнее, причем $R_7/R_{28} \approx 0,20\text{--}0,30$. Линейное удлинение раствора увеличивается и составляет от 0,7 до 1%. Помещенный в воду раствор разбухает в 4-дневном возрасте почти настолько же, как и раствор двухдневного возраста, изготовленный из обожженного при 800° вяжущего (рис. 2б).

Минералы гидравлического вяжущего, особенно свободная известь в летучих золах из топок пылевидного сжигания, при высокой температуре ($1200\text{--}1300^\circ$) обладают малой активностью. Твердение раствора из такого вяжущего значительно замедляется, и R_7/R_{28} в среднем только 0,10. Медленное гашение свободной извести обуславливает значительное разбухание раствора, причем линейное удлинение составляет в среднем от 2 до 5‰, что почти в 10 раз больше, чем для золы, обожженной при 800° . Даже в 10-дневном возрасте раствор, помещенный в воду, разбухает более, чем раствор двухдневного возраста, изготовленный из обожженного при 800° вяжущего (рис. 2а).

Из этих данных вытекает, что быстро твердеющие и обладающие большой активностью сланцезольные вяжущие получают путем кратковременного обжига порошкообразного кукурсита.

Выводы

1. При кратковременном (несколько секунд) сжигании пылевидного сланца ($\varnothing < 0,2$ мм) в летучем состоянии получается зола с лучшими (в среднем от 2 до 5 раз) вяжущими свойствами (с пластичным раствором $R_{28} \approx 70\text{--}130$ кг/см²), чем при длительном (> 10 мин.) сжигании кускового сланца ($R_{28} \approx 15\text{--}35$ кг/см²).

2. Минералы гидравлического вяжущего и свободная известь, которые имеются в золе-уносе, полученной при низкой температуре (от 800 до 900°), очень активны — соотношение $R_7/R_{28} \approx 0,50\text{--}0,60$. Образцы уже через 2—3 дня водостойки. Зола-унос, полученная при температурах $1100\text{--}1200^\circ$, твердеет медленнее, — $R_7/R_{28} \approx 0,20\text{--}0,30$. При более высокой температуре ($1200\text{--}1300^\circ$) снижаются вяжущие свойства обожженной золы и особенно замедляется твердение — соотношение R_7/R_{28} составляет лишь $\sim 0,10$. Малая активность минералов, а особенно свободной извести, обуславливает значительное и длительное расширение раствора. Образцы становятся водостойкими лишь через 7—14 дней.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Августиник, Физическая химия силикатов, Ленинград—Москва, 1947.
2. П. П. Будников, А. С. Бережной, Реакции в твердых фазах, Москва, 1949.
3. К. С. Евстропев, Химия кремния и физическая химия силикатов, Москва, 1950.
4. В. Н. Юнг, Основы технологии вяжущих веществ, Москва, 1951.
5. J. A. Hedvall, Reaktionsfähigkeit fester Stoffe, Leipzig 1938.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА СЛАНЦЕВОЙ ЗОЛЫ

Г. А. МЕТС и В. Х. КИКАС

Сланцевая зола, получаемая сжиганием сланца при соответствующем подобранном режиме, обладает хорошими вяжущими свойствами. Эти свойства обусловлены активными минералами, возникшими в процессе сжигания сланца. Если эти минералы кристаллические, то их можно определить методами рентгеноструктурного анализа. Установление количественного содержания активных минералов позволило бы точнее выбирать режим сжигания сланца, а также и необходимые небольшие добавки к золе и, таким образом, получать максимальные показатели золы как вяжущего.

В настоящей работе сделана попытка разработать методику применения рентгеноструктурного анализа для определения минералогического состава сланцевой золы. Исходным является метод порошка. Для исследования была взята зола, улавливаемая в циклонах при пылевидном сжигании сланца. Зола просеивалась через сито с ячейками в 60 микрон.

На снимках можно было ожидать весьма большого количества линий, так как в золе содержится много минералов. Кроме того, необходимо учесть, что при низкой симметрии минералов каждый из них дает много слабых линий. Поэтому было решено разделить золу на фракции по удельным весам методом центрифугирования в тяжелых жидкостях. (Подробные сведения о центрифугировании даны в сообщении В. Кикаса на стр. 58 настоящего сборника.) Как показывают рентгенографические данные, а также механические испытания, эффект разделения имеется. Полного разделения и нельзя ожидать, так как некоторые зерна золы состоят из спекшихся крупинок разных минералов. Интенсивность отдельных линий на снимках показывает явную зависимость от удельного веса фракции. Желательно было бы испытать разделение и по какому-либо другому физическому параметру.

Рентгенографирование

Метод и излучение. С отдельных фракций золы снимались диффракционные спектры методом Дебая-Шеррера. Часть снимков сделана с вращающегося, часть с неподвижного препарата. Линии снимков с неподвижных препаратов получают пят-

нистые, что несколько затрудняет оценку интенсивностей. Но характер и величина пятен помогают ориентироваться в линиях различных минералов.

Для снимков использовалась трубка БСВ с горячим катодом и антикатодом из кобальта ($\lambda = 1,785 \text{ \AA}$). Фокусное пятно трубки сравнительно широкое, но так как щель камеры можно установить в плоскости антикатада, то по вертикали ширина проекции пятна может быть сделана весьма малой, и при горизонтальном положении оси камеры можно получить весьма тонкие, четкие линии.

Напряжение на трубке 30 кв, ток 10 мА. Продолжительность экспозиции 24 часа.

Камеры. Применялись цилиндрические камеры диаметром 65 мм. Пленка вкладывалась асимметрически, т. е. ее концы сходились при $\Theta = 45^\circ$. Пленка прижималась стальными кольцами к внутренней цилиндрической поверхности камеры. Отверстия для впуска и выпуска рентгеновского луча в пленке просверливались специальной фрезой, когда пленка уже была закреплена в камере. В одних камерах применялись круглые щели диаметром 1 мм. Конец щели входит в камеру на расстояние 5 мм от препарата. Из-за отсутствия сверла с нужным диаметром для изготовления конца щели, защищающего от рассеянного излучения краев, на снимках при малых углах имеются линии краев щели. Кризисна этих линий другая, и их можно хорошо отличить от линий препарата. С противоположной стороны в камеру входит ловушка для лучей, не доходящая до препарата на 7 мм. Снимки, полученные в этих камерах, более интенсивны и имеют более слабый фон.

В других камерах применялись продолговатые щели шириной 0,7 мм и высотой 1,5 мм. Ловушки луча не было. На снимках в этих камерах середина линий уже, но линии несколько слабее, а фон сильнее.

Препараты. Так как атомные номера элементов, содержащихся в золе, сравнительно малы, а ожидаемые минералы имеют большие периоды идентичности, то линии должны быть очень слабыми. Кроме того, аморфная фаза золы дает сравнительно сильный рассеянный фон. Поэтому необходимо было позаботиться о том, чтобы в препарате не было посторонних веществ (клея и пр.), усиливающих рассеянный фон.

Порошковые препараты изготавливаются обычно наклеиванием порошка на тонкую стеклянную палочку. В этом случае клей и стекло дают сильный добавочный фон.

Препараты изготавливались в виде прессованных палочек вокруг тонкой хромоникелевой проволоки ($\text{Ø } 0,1 \text{ мм}$). Диаметр препарата 0,7 мм, длина его 2,5—3,0 мм.

Формой служила тонкая трубочка — медицинская игла для уколов, конец которой срезан перпендикулярно оси. В трубочку вставляется плотно входящая хромоникелевая проволока, кончик

которой на длине 2,5—3,0 мм сошлифован до диаметра 0,1 мм. Этот кончик доходит до конца трубки и является осью цилиндрического канала на конце трубки. В этот канал и набивается препарат «клеванием» в соответствующий порошок, лежащий слоем на гладком стекле. Утонченная часть проволоки покрывается тонким слоем воска. Когда порошок набит, трубочка слегка разогревается, чтобы воск растаял и склеил внутренние зерна препарата. После этого препарат можно еще немного набить порошком, а затем вытолкнуть его проволочкой. Препарат остается на конце проволоки; его хребтом является утонченная часть. Слой чистого порошка настолько толст (для излучения кобальта), что линий хромоникелевой проволоки и воска на снимке не получается, за исключением тех случаев, когда препарат при закладке пленки в камеру или во время облучения осыпается.

Необходимо посмотреть в лупу, плотно ли спрессован готовый препарат, а также испробовать его прочность следующим образом: держа проволочку с препаратом в одной руке, слегка постукивать по пальцам другой рукой. В исключительных случаях, когда препарат оказывается весьма сыпучим, приходится на утончение проволоки наносить более толстый слой воска, а также склеивать его верхний конец перед выталкиванием. Линии воска появляются только при малых углах и не мешают работе.

Центрирование препаратов производилось от руки под микроскопом с десятикратным увеличением — визировался верхний конец препарата.

Так как большинство препаратов содержит свободную известь (СаО), то их нельзя долго держать на воздухе. Готовые препараты сразу же шли на облучение. По истечении 24-часового облучения изменения препарата в лупу не было заметно. В этом отношении хорошо влияла малая относительная влажность помещений (45%) и плотно закрытая камера. При выдерживании препарата в помещении в течении двух недель препарат набухал и осыпался.

Измерение снимков. Измерение снимков производилось на делительной машине при увеличении микроскопа в семь раз. Точность отсчета 0,01 мм. Повторяемость отсчета интенсивных узких линий в пределах 0,02 мм. Слабые линии в микроскопе не видны; их приходилось отмечать уколом острой иглы под лупой с увеличением до четырех раз. Повторяемость уколов низкая — в границах 0,1 мм.

Для измерения средняя полоса снимка отмечалась двумя линиями (карандашом). Линии, находящиеся между двумя отверстиями, нумеровались чернилами, начиная от меньших углов к большему. Линии по другую сторону отверстий получали номера симметричных им линий.

Измерение начинается от края (на краях $\theta = 45^\circ$) и идет к уменьшающимся углам; отсчеты положений линий записываются в первый столбец, в строку, носящую номер линии. При переходе

через первое отверстие ($\Theta = 0^\circ$) отсчеты положения линий заносятся во второй столбец, в строку соответствующего номера. При переходе через второе отверстие ($\Theta = 90^\circ$) отсчеты положений заносятся в первый столбец, в строку с соответствующим номером линии.

Обработка результатов измерения. Отсчеты положений симметричных линий складываются и записываются в третий столбец. Сумма отсчетов положений линий, симметричных относительно первого отверстия ($\Theta = 0^\circ$), дает удвоенное значение отсчета для $\Theta = 0^\circ$, а суммы отсчетов положений линий, симметричных относительно второго отверстия ($\Theta = 90^\circ$), дают удвоенный отсчет положения для $\Theta = 90^\circ$. Отклонения отдельных сумм отсчетов от среднего указывают на ошибку отсчета и являются, таким образом, проверкой измерения. Разница отсчетов $\Theta = 0^\circ$ и $\Theta = 90^\circ$ позволяет определить эффективный радиус камеры.

Далее вычисляются, как обычно, значения углов отклонения. Для тех линий, сумма отсчетов которых не отклоняется заметно от среднего, берется среднее значение угла. Для линий, у которых сумма отсчетов положения сильно отклоняется от среднего, вычисляются значения углов и их синусы для обоих отсчетов. Таким образом получается область возможного нахождения линии. Обычно один из отсчетов оказывается точным. Синусы углов берутся с точностью до единицы четвертого знака, что соответствует точности отсчетов.

Толщина препарата и поглощение в нем не учитывались, так как эти поправки имеют равномерный ход и благодаря этому они легко исключаются последующей методикой.

Оценка интенсивностей. Интенсивности оценивались на глаз по 7-бальной шкале. Оценка велась относительно линий одного и того же снимка. Наиболее сильные линии разных снимков оценивались между собой. Это позволяло составить одинаковую шкалу интенсивностей для всех снимков, насколько это позволяет вообще оценка на глаз.

Сравнение с литературными данными. Для сравнения полученных результатов с литературными данными и между собой изготавливались полоски из миллиметровой бумаги, на которые наносились соответствующие значения логарифмов синусов угла отклонения. Интенсивность линий отмечалась длиной линии. Такие логарифмические спектры, как известно, весьма удобны.

При логарифмировании уравнения Вульфа-Брегга получаем:

$$\log \sin \Theta = \log n + \log \lambda - \log d - \log 2,$$

где Θ — угол отражения, n — порядок спектра, λ — длина волны и d — межплоскостное расстояние. Из этого уравнения видно, что если $\sin \Theta$ дан для другой волны λ , то изменяется только слагаемое $\log \lambda$, т. е. изменяется только начальная точка шкалы. След-

ствии этого очень удобно отбирать линии $K\text{-}\beta$, которые будут находиться на одном и том же расстоянии от более интенсивных $K\text{-}\alpha$ линий.

Если имеем дело с твердыми растворами, то меняются параметры структуры; если же сохраняется подобие структур, то в логарифмическом спектре несколько смещается лишь начальная точка шкалы.

Отсутствие корректировки на толщину и поглощение препарата сказывается лишь при сравнении с данными других авторов в том, что наблюдается закономерный сдвиг соответствующих линий, что легко видно на глаз и корректируется постепенным небольшим сдвигом полосок.

В литературе структуры задаются таблицами значений d (1, 2, 3, 4). Из логарифмированной формулы Вульфа-Брегга видно, что для того, чтобы получить из логарифмической шкалы межплоскостных расстояний шкалу $\log \sin \theta$, надо ее перевернуть, т. е. перевернуть направление полоски на обратное.

Для ориентировки на график наносилось цветным карандашом положение линии $\sin \theta = 0,3000$, что отвечает при кобальтовом излучении $\lambda = 1,785 \text{ \AA}$ значению $d = 2,975 \text{ \AA}$.

Некоторые результаты. Препарат с удельным весом 2,5 дает снимок, который резко отличается от других. Как линии, так и фон снимка слабы. Это подтверждает микроскопические наблюдения о том, что частички этой фракции содержат большие пузырьки воздуха. Расплывчатые линии — это линии кварца; очень слабые, но более резкие — линии CaO .

Фракции с большим удельным весом дают снимки нормальной интенсивности. Во всех фракциях можно обнаружить линии CaO и MgO , интенсивность которых по фракциям согласуется с данными химического анализа. В препаратах с удельным весом 2,7—3,0 имеются линии минерала $a = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. В препаратах с удельным весом 3,1—3,2 имеются линии $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$. Фракции с большим удельным весом содержат FeO . Этот минерал можно выделить магнитным методом. Остаток дает много линий, которые не удалось идентифицировать при помощи имевшихся материалов.

Была сделана попытка получить соединения спеканием CaO , FeO и SiO_2 в электрической дуге, однако для расшифровки эти препараты ничего нового не дали.

Фон снимков весьма интенсивный, что указывает на наличие аморфной фазы, которая, возможно, и является главным компонентом активного вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. С. Белянкин, Б. В. Иванов, В. В. Лапин, Петрография технического камня, Изд. АН СССР, М., 1952.
 2. А. К. Болдырев, В. И. Михеев, В. Н. Дубинина и др., Рентгенометрический определитель минералов, ч. I. Записки Ленинградского горного института, т. XI, вып. 2, 1938.
 3. В. И. Михеев и др., Минералы каменного литья. Записки Ленинградского горного института, т. XI, вып. I, 1935.
 4. В. И. Михеев и В. Н. Дубинина, Рентгенометрический определитель минералов, ч. II. Записки Ленинградского горного института, т. XIII, вып. I, 1939.
-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В ЭСТОНСКОЙ ССР

О. А. МАДДИСОН,

действительный член Академии наук Эстонской ССР

Грандиозные задачи жилищного, сельскохозяйственного и культурно-бытового строительства в Эстонской ССР выдвигают в настоящий момент необходимость использования местных строительных материалов в самых широких размерах. В связи с этим должно быть уделено особое внимание местным строительным вяжущим, которые могли бы быть использованы как новые самостоятельные вяжущие материалы для кладочных и штукатурных растворов, а также для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, необходимых в строительстве*.

1. Сланцезольные вяжущие

В настоящее время в Эстонской ССР осваиваются следующие два основных вида местных сланцезольных вяжущих:

а) сланцезольное вяжущее под номенклатурным наименованием кукермит обыкновенный, представляющее собой тонкомолотую перевальную золу слоевого сжигания горючего сланца-кукерсита при температуре сжигания в пределах 900—1100°C, и

б) сланцезольное вяжущее под номенклатурным наименованием кукермит гидравлический, представляющее собой также тонкомолотую золу, но получаемую от сжигания сланца в пылевидном состоянии в топках установок теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) в Кохтла-Ярве и Ахтме при температуре сжигания сланца в пределах до 1250—1350°C.

Помимо указанных двух уже освоенных видов сланцезольного вяжущего, в стадии лабораторных исследований находятся некоторые другие виды вяжущих, получаемых как на базе минеральных отходов сжигания сланца в новых типах топок, так и на базе минеральных отходов при химико-технологической переработке сланца.

* Вопрос об использовании сланцезольных вяжущих в строительстве в ЭССР разработан коллективом сотрудников Института строительства и строительных материалов АН ЭССР под руководством автора в пределах первой, наиболее трудоемкой и решающей стадии исследовательских работ.

2. Прочность сланцезольных вяжущих

Кукермит обыкновенный как низкомарочное сланцезольное вяжущее, нормативная прочность которого намечена соответствующим стандартом в пределах 25—50 кг/см², находит в настоящее время широкое применение, главным образом как заменитель извести при изготовлении кладочных и штукатурных растворов. Вместе с тем следует отметить, что кукермит обыкновенный является также вполне удовлетворительным вяжущим при изготовлении в условиях пропаривания сланцезольных пенобетонных блоков.

Не исключена также возможность использования натуральной немолотой золы сжигания горючего сланца в пылевидном состоянии в качестве вяжущего для изготовления пенобетонных стеновых блоков.

Для бетонных и железобетонных конструкций допустимо применение лишь кукермита гидравлического таких составов, которые обеспечивают более высокие прочностные характеристики применяемого вяжущего.

Обычное требование в отношении постоянства изменения объема сланцезольного вяжущего, в случае твердения его в нормальных условиях температурно-влажностного режима, достигается добавлением к золе при заводском ее помоле активных гидравлических добавок в виде, например, трепела, некоторых видов обожженной глины—глинита, термически обработанного эстонского диатомита. С этими добавками гидравлический кукермит представляет собой вяжущее под номенклатурным наименованием кукермита гидравлического улучшенного. Прочность на сжатие улучшенного гидравлического кукермита не превышает при нормативных испытаниях его в 28-дневном возрасте 250 кг/см² (нормативная его прочность намечена соответствующим стандартом в пределах 100—200 кг/см²). Следует отметить, что прочность на сжатие сланцезольного вяжущего 250 кг/см², вполне обеспечивая изготовление бетона марок от М-90 до М-110, является, однако, недостаточной для получения бетона более высоких марок. Для увеличения прочности бетона необходимо добавлять к основному сланцезольному вяжущему — кукермиту гидравлическому улучшенному — некоторое количество (до 50% от веса вяжущего) портландцемента.

Сланцезольное вяжущее в виде улучшенного гидравлического кукермита образует с добавкой к нему в количестве от 0 до 50% обыкновенного цемента * непрерывный ряд сланцезольных вяжущих с повышающимися техническими качествами.

В таблице 1 приводятся в виде справки данные о характере вяжущих, применяемых и намечаемых к применению в жилищном, сельскохозяйственном и культурно-бытовом строительстве.

* Здесь и далее: обыкновенный цемент = портландцемент.

Таблица 1

Наименование вяжущих		Характер и состав вяжущего
символ	промышленное номенклатурное	
„К _о “	Кукермит обыкновенный	Тонкомолотая перевальная зола слоевого сжигания горючего сланца-кукерсита на колосниковой решетке парокотельных установок
„К“	Кукермит обыкновенный улучшенный	То же, с активной гидравлической добавкой в виде 30% глиниста или 20% трепела
„З _{пл} “	—	Натуральная зола сжигания горючего сланца-кукерсита в пылевидном состоянии
„А _о “	Кукермит гидравлический	Тонкомолотая зола сжигания горючего сланца-кукерсита в пылевидном состоянии
„Б _о “	Кукермит гидравлический (Ц 25)	Механическая смесь из 75% кукермита гидравлического и 25% обыкновенного цемента (по весу)
„В _о “	Кукермит гидравлический (Ц 50)	То же из 50% кукермита гидравлического и 50% обыкновенного цемента (по весу)
„А“	Кукермит гидравлический улучшенный	Тонкомолотая зола сжигания горючего сланца-кукерсита в пылевидном состоянии с гидравлической добавкой в виде 20% трепела или 30% глиниста
„Б“	Кукермит гидравлический улучшенный (Ц 25)	Механическая смесь из 75% кукермита гидравлического улучшенного и 25% обыкновенного цемента
„В“	Кукермит гидравлический улучшенный (Ц 50)	То же из 50% кукермита гидравлического улучшенного и 50% обыкновенного цемента
„Ц _о “	Обыкновенный цемент завода «Пунане Кунда» с добавкой	Механическая смесь из 75% обыкновенного цемента и 25% кукермита гидравлического
„Ц“	Обыкновенный цемент завода «Пунане Кунда»	Местный обыкновенный цемент завода «Пунане Кунда», обжигаемый на горючем сланце-кукерсите

Результаты стандартных испытаний сланцезольных вяжущих, с добавкой обыкновенного цемента и без такой добавки, показали, что сланцезольные вяжущие вполне пригодны для изготовления на них тяжелых (обычных) бетонов для бетонных и железобетонных строительных конструкций.

3. Применяемые марки тяжелого (обычного) сланцезольного бетона

Изготовление бетонных и железобетонных конструкций предусматривает в условиях жилищного, сельскохозяйственного и культурно-бытового строительства в Эстонской ССР бетоны общесоюзных стандартных марок в пределах от М-50 до М-200 включительно (таблица 2). Для получения достаточно плотного бетона (в случае твердения его в нормальных условиях температурно-влажностного режима) рекомендуется марку применяемого вяжущего брать выше намечаемой марки бетона. На основании многолетнего опыта установлено, что нижний предел марки сланцезольного вяжущего следует брать равным удвоенной величине марки бетона, а верхний — примерно на 100 кг/см² выше нижнего.

В соответствии с этим средние марки вяжущих, необходимые для изготовления бетона предусматриваемых марок, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Марка бетона	для бетонных работ	М-50	М-70	М-90	М-110	М-140	М-170	М-200
	для железобетонных конструкций	—	—	М-90	М-110	М-140	М-170	М-200
Потребная средняя марка вяжущих		«150»	«200»	«250»	«300»	«350»	«400»	«450»
Вид потребного вяжущего		Кукермит гидравлический улучшенный		Кукермит гидравлический улучшенный с добавкой обыкновенного цемента до 50% по весу		Обыкновенный цемент с добавкой 25% кукермита		Обыкновенный цемент

При выборе вида и состава вяжущего для изготовления намечаемой марки бетона рекомендуется исходить из средней величины марки вяжущего при заданных марках основных вяжущих: улучшенного гидравлического кукермита и обыкновенного цемента. Количество ($ц$) обыкновенного цемента марки «Ц», которое необходимо добавить к улучшенному гидравлическому кукермиту марки « R_A » с целью получения намечаемой средней марки вяжущего « $R_{ц}$ », может быть определено на основании зависимости:

$$ц = 125 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{24}{25} \frac{R_{ц} - R_A}{ц - R_A}} \right). \quad (1)$$

В соответствии с реальными производственными возможностями изготовления в условиях республики основные вяжущие с достаточно высокой активностью (кукермита гидравлического улучшенного с активностью «100» и выше и обыкновенного цемента

марок до «500») в жилищном, сельскохозяйственном и культурно-бытовом строительстве республики в полной мере могут быть использованы марки бетона в пределах от М-50 до М-200, так как получение бетона марки М-50 обеспечивается средней активностью улучшенного гидравлического кукуермита, равной «150». Для бетона марки М-200, изготовляемого на одном обыкновенном цементе, предельными значениями марок цемента будут «400» и «500».

4. Стойкость тяжелого бетона при воздействии окружающей среды

Стойкость (долговечность) сланцезольного тяжелого (обычного) бетона при воздействии окружающей среды охватывает следующие вопросы:

а) морозостойкость и

б) стойкость его при действии пресных текущих поверхностных вод, грунтовых вод с явно выраженной агрессивностью, жижи коровников и свиарников и тому подобных жидкостей.

Морозостойкость тяжелого сланцезольного бетона. Вопрос о морозостойкости сланцезольного бетона является весьма существенным в случае использования его в конструкциях, подвергающихся воздействию мороза в насыщенном водой состоянии. Учитывая условия службы такого бетона, испытание на морозостойкость образцов из тяжелого сланцезольного бетона можно ограничить 15 циклами попеременного замораживания и оттаивания для бетона, находящегося в облегченных условиях, и 25 циклами для бетона, условия службы которого являются более тяжелыми. Результаты проведенных испытаний на морозостойкость сланцезольных бетонов позволяют высказать следующее весьма существенное общее положение.

Бетон, изготовляемый на улучшенном гидравлическом кукуермите с потребной для обеспечения намечаемой его конструктивной прочности добавкой 25—50% (по весу) обыкновенного цемента, выдерживает испытания на морозостойкость в указанных пределах вполне удовлетворительно.

Что же касается бетона, изготовляемого на улучшенном гидравлическом кукуермите без добавки обыкновенного цемента, то его приходится пока считать неморозостойким и допускать его применение лишь в конструкциях, не подвергающихся замораживанию в насыщенном водой состоянии.

В отношении возможности повышения морозостойкости бетона нужно отметить, что такое повышение, принимая во внимание зависимость морозостойкости бетона, помимо прочности, от его водопоглощаемости и степени заполнения пор водой, может быть достигнуто принятием мер, повышающих водонепроницаемость бетона.

К таким мерам относятся:

1. Выбор наиболее целесообразного гранулометрического состава смеси инертных компонентов (песка и щебня) бетона, обеспечивающего наибольшую возможную плотность бетона и вместе с тем повышенную его водонепроницаемость и, следовательно, повышенную его морозостойкость.

2. Использование гидрофобизирующей добавки к бетону в виде натрового мыла абиетиновой смолы (по ВНИИГ в количестве 0,02% от веса сланцезольного вяжущего) с целью изменения обычной структуры бетонной массы с сообщаемыми между собою порами в структуру с разобщенными друг от друга микропорами, обладающую повышенной водонепроницаемостью и в связи с этим также повышенной морозостойкостью.

3. Добавка к улучшенному гидравлическому кукуермиту обыкновенного цемента.

Стойкость тяжелого сланцезольного бетона в агрессивной среде. Вопрос о стойкости тяжелого (обычного) сланцезольного бетона в отношении воздействия агрессивной среды (в виде текущих пресных поверхностных, агрессивных грунтовых и болотных вод, а также в виде жижи коровников и свинарников и т. п.) требует выполнения длительных экспериментальных исследований как в лабораторной, так и в полевой обстановке. Лабораторные исследования имеют целью установление предельных значений агрессивных факторов (в виде содержащихся в воде и жидкостях солей и газов), при воздействии которых сланцезольный бетон еще оказывается стойким.

Цель полевых исследований заключается в проверке результатов теоретических лабораторных исследований в условиях полевой обстановки.

Результаты проведенных лабораторных исследований позволяют высказать следующие положения.

1. При малой карбонатной жесткости среды или при большом содержании в ней свободного углекислого газа CO_2 , а также при наличии в воде обоих факторов одновременно — коррозионная стойкость бетона-раствора на кукуермите гидравлическом и на кукуермите гидравлическом улучшенном практически одинакова.

2. В случае агрессивной среды с ничтожной карбонатной жесткостью (например, дистиллированной воды) коррозионная стойкость бетона-раствора, изготовленного на кукуермите гидравлическом и на кукуермите гидравлическом улучшенном, больше коррозионной стойкости бетона-раствора, изготовленного на обыкновенном цементе. Если же агрессивной средой является среда с ничтожной карбонатной жесткостью (дистиллированная вода), но с высоким содержанием свободного углекислого газа CO_2 , то коррозионная стойкость бетона-раствора на упомянутых сланцезольных вяжущих оказывается ниже коррозионной стойкости бетона-раствора на обыкновенном цементе.

С целью исследования в полевой обстановке корродирующего влияния среды в виде агрессивных поверхностных, грунтовых и болотных вод, а также жижи коровников и свинарников на сланцезольный бетон-раствор в 1952 году были изготовлены серии бетонных образцов на кукуермите гидравлическом улучшенном без добавки и с добавкой 25 и 50% обыкновенного цемента, а также для сравнения на эталонном вяжущем — обыкновенном цементе.

Сроки осмотра и испытания образцов бетона, помещенных в агрессивные среды, были предвидены через 1 год и через 2 года. В намеченные сроки, после пребывания опытных бетонных образцов в условиях воздействия агрессивной среды, они были тщательно осмотрены. С полным удовлетворением можно было констатировать сохранность опытных образцов, подвергавшихся воздействию отмеченных агрессивных факторов среды.

Столь же удовлетворительными оказались результаты механического испытания опытных бетонных образцов после корродирующего воздействия среды, в которой образцы пребывали в продолжение 1—2 лет.

С целью лучшего обзора и оценки результатов механических испытаний опытных бетонных образцов сохранившаяся их прочность на сжатие определялась в процентах от прочности на сжатие контрольных образцов, хранившихся в лабораторных условиях в воде и испытанных в намеченные сроки одновременно с образцами, подвергавшимися корродирующему воздействию среды. Характерно полное совпадение величины (в процентах) сохранившейся прочности на сжатие сланцезольных бетонных образцов и образцов на обыкновенном цементе после двухлетнего пребывания как одних, так и других опытных образцов в агрессивной среде (таблица 3).

5. Основные вопросы, связанные с применением сланцезольных вяжущих в железобетоне

В случае использования сланцезольного вяжущего для изготовления бетона, предназначенного для железобетонных конструкций, возникают, помимо вопроса о прочности и водостойкости бетона, еще следующие два существенных вопроса:

1. Вопрос об обеспечении сопротивления сдвигу так называемой гладкой арматуры в сланцезольном бетоне.

2. Вопрос о стойкости (долговечности) железобетона, изготовляемого на сланцезольном вяжущем, в отношении возможной коррозии (ржавления) арматурной стали под воздействием сланцезольного вяжущего.

Результаты лабораторных экспериментальных исследований по определению сопротивления сдвигу арматуры в сланцезольном бетоне как по «методу проталкивания», так и по «методу выдергивания» показали, что величина этого сопротивления вполне

Таблица 3

Вязущие, примененные для изготовления опытных образцов	Характеристика опытных бетонных образцов состава 1 : 1,71 : 2,81			Прочность на сжатие контрольных образцов, хранившихся в нормальных условиях	Сохранившаяся прочность на сжатие бетонных образцов, подвергавшихся в продолжение 2 лет в полевой обстановке коррозионному воздействию агрессивной среды в виде:							
	Водовязущее отношение	Осадка стандартного конуса см	Расход вяжущего кг/м ³		текущей пресной воды (водосборная канава в увлажненной местности)		агрессивной грунтовой воды (участок «Кристине Хейнама»)		жижи коровника в совхозе «Костивере»		жижи свинарника в том же совхозе	
					кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%
Кукермит гидравлический улучшенный	0,61	1—2	378	235	214	91	205	87	154	66	237	101
Кукермит гидравлический улучшенный (Ц 25)	0,58	1—2	385	343	266	77	289	84	307	89	316	92
Кукермит гидравлический улучшенный (Ц 50)	0,56	1—2	392	362	336	93	322	89	331	91	310	85
Обыкновенный цемент (эталонное вязущее)	0,50	1—2	406	466	406	87	393	84	395	85	439	94
Средний процент оставшейся прочности образцов из сульфатостойкого бетона после двухлетнего воздействия на них агрессивной среды				—	—	87	—	87	—	82	—	93

удовлетворительна и в достаточной мере обеспечивает совместную работу арматуры и бетона в железобетонных конструкциях. Это, между прочим, подтвердилось при испытании опытных железобетонных балок на изгиб до полного их разрушения.

Что касается вопроса о коррозии арматурной стали под воздействием сланцезольного вяжущего, на котором изготавливается бетон, то при этом надо иметь в виду возможность возникновения ее, в общем, от двух факторов:

- 1) под влиянием содержащейся в золе горючего сланца активной сульфидной серы и
- 2) под влиянием окислительного процесса, вызываемого действием влажного воздуха, проникающего в толщу бетона и соприкасающегося с арматурной сталью, т. е. коррозию в виде простого ржавления арматуры.

Коррозия первого рода. Учитывая ничтожное количество (0,15—0,20%) сульфидной серы, содержащейся в золе сжигания горючего сланца в пылевидном состоянии, нет основания при высокощелочном характере сланцезольного бетона опасаться сульфидной коррозии заделываемой в сланцезольный бетон стальной арматуры. Химическим анализом толстого слоя ржавчины, полученного искусственным усилением коррозионного процесса, обнаружены лишь следы серы.

Коррозия второго рода. Под влиянием окислительного процесса, вызываемого действием проникающего к арматуре влажного воздуха, имеет место явление коррозии арматурной стали в виде ее ржавления.

Возникновение и развитие процесса ржавления может быть объяснено данными, полученными на основании экспериментальных исследований, а также следующими теоретическими положениями.

1. Вследствие неоднородности в строении поверхностного слоя арматуры, разной степени аэрации и увлажнения ее поверхности, на последней образуются анодные и катодные участки, создающие при благоприятных условиях ряд гальванических микроэлементов. В результате действия гальванических микроэлементов на поверхности арматуры возникают электрохимические процессы, сопровождающиеся коррозионными явлениями ржавления арматуры. Эти процессы поддерживаются кислородом наружного влажного воздуха, непрерывно проникающего через бетон к арматуре.

2. Характер и направление коррозионного процесса определяются значением кислотно-щелочной характеристики среды pH. Среди окислов железа, образующихся во время коррозионного процесса у анодных участков поверхности арматуры, насыщенному раствору гидрата закиси железа соответствует значение величины $\text{pH} \sim 9,5$, представляющее собой в некотором роде границу двух областей с резко отличающимися друг от друга особенностями в отношении проявления коррозионных явлений. При значе-

ниях величины $pH < 9,5$ беспрепятственно совершается процесс коррозии — ржавления арматуры. При значениях же величины $pH > 9,5$ на поверхности арматуры образуется устойчивая защитная пленка гидрата закиси железа и в связи с этим коррозионный процесс, имевший место при значениях величины $pH < 9,5$, прекращается.

Чрезвычайно важным является при этом сохранение указанной защитной пленки, чему в значительной мере содействует наличие у поверхности арматуры щелочной бетонной среды со значением величины $pH > 12$.

Из сказанного следует, что развитие электрохимических процессов коррозии ржавления арматуры обуславливается совместным наличием следующих благоприятствующих условий:

а) наличием достаточной толщины влажной пленки на поверхности арматуры;

б) наличием непрерывного притока к поверхности арматуры наружного влажного воздуха (кислорода) и

в) величиной кислотно-щелочной характеристики pH бетонной среды.

6. Влияние степени влажности наружного воздуха на ход коррозионного процесса ржавления арматуры

В отношении влияния степени влажности окружающего воздуха на возможность возникновения и дальнейшего развития коррозии (ржавления) арматурной стали можно отметить следующие четыре характерных случая, подтвержденных экспериментальными исследованиями:

1. В случае очень низкой относительной влажности наружного воздуха, соответствующей так называемой «комнатной влажности» воздуха (менее 50—60%), существующий запас влаги оказывается недостаточным для проявления коррозионного процесса на поверхности арматурной стали. Из этого следует, что при указанной низкой относительной влажности наружного воздуха возможность возникновения коррозии (ржавления) арматурной стали мало вероятно (отсутствует влажная пленка достаточной толщины).

2. В бетоне, находящемся под водой, поры и капилляры заполнены водой, насыщенной растворенным в ней гидратом окиси кальция. В таком бетоне под водой создаются условия, предотвращающие возможность возникновения или дальнейшего развития коррозии ржавления арматурной стали (прекращен доступ кислорода воздуха).

3. Третий (очень близкий ко второму) случай характеризуется очень высокой относительной влажностью воздуха (не менее 90—95%), когда поры и капилляры защитного бетонного слоя заполняются конденсированной влагой и перестают пропускать

воздух (кислород) к поверхности арматуры. Таким образом, и в случае высокой относительной влажности воздуха также не имеется оснований для опасений в отношении возникновения или дальнейшего развития коррозии арматурной стали (также прекращен доступ кислорода).

4. Наименее обеспеченной оказывается, таким образом, сохранность арматурной стали при относительной влажности воздуха, окружающего железобетонную конструкцию, в пределах от 60 до 95%. Такое положение неминуемо вызывает необходимость применения специальных мер для обеспечения воздухо- и водонепроницаемости защитного бетонного слоя (непрерывный свободный доступ к арматуре наружного влажного воздуха).

7. Схема коррозионного процесса ржавления арматурной стали (железа) в бетоне с кислородной деполяризацией на катоде

Для большей наглядности и лучшего освещения механизма коррозионного процесса на поверхности арматуры в случае проникновения к ней через сланцезольный бетон влажного наружного воздуха (кислорода) приведены две наиболее характерные схемы этого процесса. При этом надо иметь в виду, что носителями электрического тока гальванических микроэлементов в пределах арматуры (железа) являются электроны, которые двигаются в направлении от анода к катоду. В пределах электролита (влажной пленки) эту задачу выполняют ионы арматурного железа и ионы гидроксила.

Самый процесс коррозионных явлений протекает в условиях деполяризации кислорода на катоде, в связи с прониканием к арматуре влажного наружного воздуха (кислорода) при щелочном характере окружающей арматуру бетонной среды. Однако интенсивность и скорость процесса коррозионных явлений зависят от наличия благоприятствующих условий:

1) коррозионный процесс ржавления арматурной стали с кислородной деполяризацией протекает в наиболее благоприятствующих условиях;

2) тот же коррозионный процесс арматуры с кислородной деполяризацией на катоде протекает в условиях, когда препятствием для интенсивного развития коррозионного процесса является малая толщина влажной пленки на поверхности арматуры и затрудненный доступ воздуха к поверхности арматуры.

1-й случай. Коррозионный процесс ржавления арматуры при нестесненной кислородной деполяризации на катоде. Атомы арматурного железа (стали), лишаясь при наличии гальванического тока части своих электронов, переходят в виде ионов в электролит, образуя гидратированные двухвалентные ионы железа. Они пред-

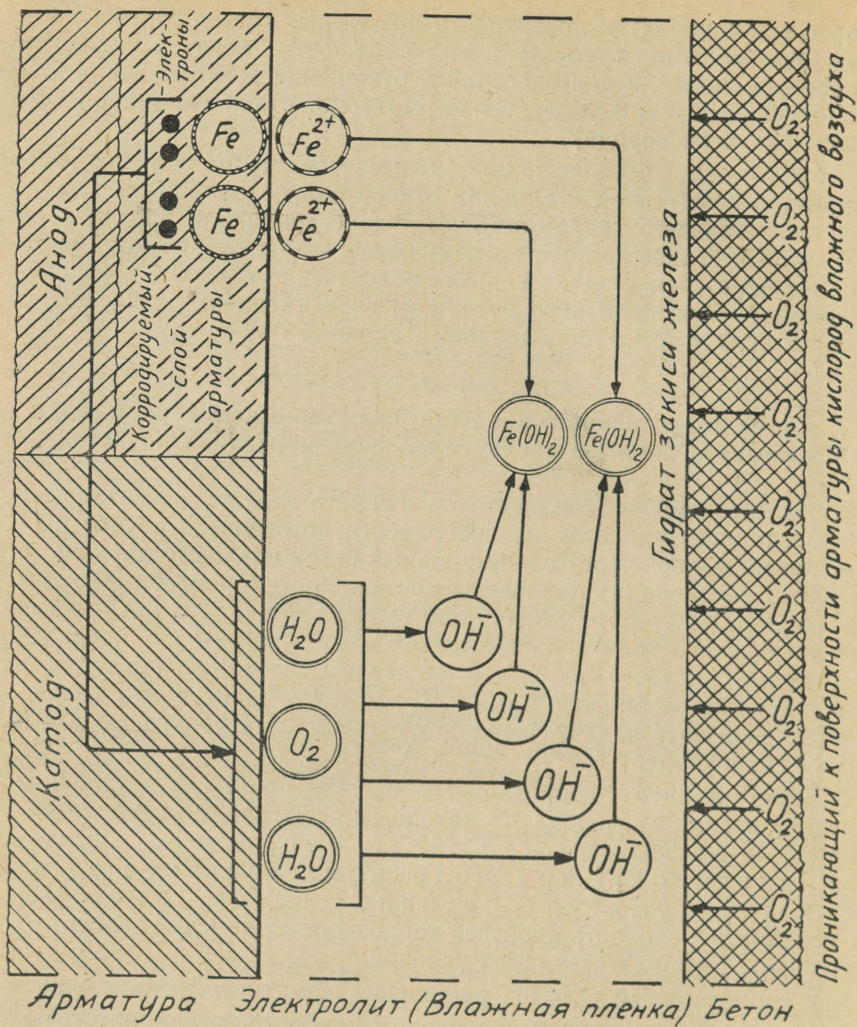
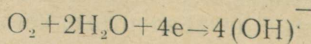


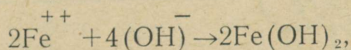
Рис. 1. 1-й случай. Схема коррозионного процесса ржавления арматуры в случае неестественной кислородной деполаризации.

ставляют собой первичный продукт коррозии на аноде (рис. 1). В то же время на катоде, где в связи с наличием гальванического тока образовалось накопление электронов, происходит ионизация кислорода, проникающего к арматуре влажного воздуха, и образование ионов гидроксила по схеме:



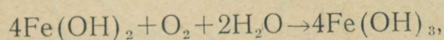
Эти ионы являются первичным продуктом коррозионного процесса на катоде.

Первичные продукты коррозии арматурного железа в виде гидратированных двухвалентных ионов железа с анода и ионов гидроксила с катода, диффундируя во влажной пленке (электролите) навстречу друг другу, образуют при встрече гидрат закиси железа по схеме



представляющий собой вторичный продукт коррозионного процесса арматуры с кислородной деполяризацией.

При дальнейшем соприкосновении с кислородом воздуха гидрат закиси железа переходит в ржавевато-бурого цвета гидрат окиси согласно уравнению



а последний в присутствии усиленно увлажненной поверхности арматуры реагирует с ней, образуя черного цвета окись-закись железа.

2-й случай. Коррозионный процесс ржавления арматуры в сланцезольном бетоне при стесненной кислородной деполяризации на катоде. Такого характера коррозионный процесс ржавления арматуры, на наш взгляд, является наиболее вероятным в железобетонных конструкциях. В этих конструкциях самое серьезное внимание обращается на повышение воздухо- и водонепроницаемости защитного бетонного слоя. Другими словами, стремятся по мере возможности уменьшить толщину влажной пленки, доводя ее практически до нуля в случае наличия действительно воздухо- и водонепроницаемого защитного слоя. Число атомов арматурного железа, отдающих на двух соседних анодах при наличии тока часть своих электронов и переходящих в виде ионов в электролит, будет минимальным (рис. 2). Процесс протекает, в общем, аналогично первому случаю, однако электроны поступают к катоду с разных анодных участков.

Нетрудно заметить, что в случае стесненной кислородной деполяризации на катоде интенсивность коррозионного процесса ржавления арматурного железа в сланцезольном бетоне значительно меньше (2-й случай) по сравнению с интенсивностью коррозионного процесса, имеющего место в случае нестесненной катодной деполяризации кислорода (1-й случай).

8. Меры предотвращения коррозии ржавления арматуры

В связи с изложенным неизбежно возникает необходимость в принятии мер для обеспечения сохранности арматуры в сланцезольных железобетонных конструкциях. Меры, предотвращающие

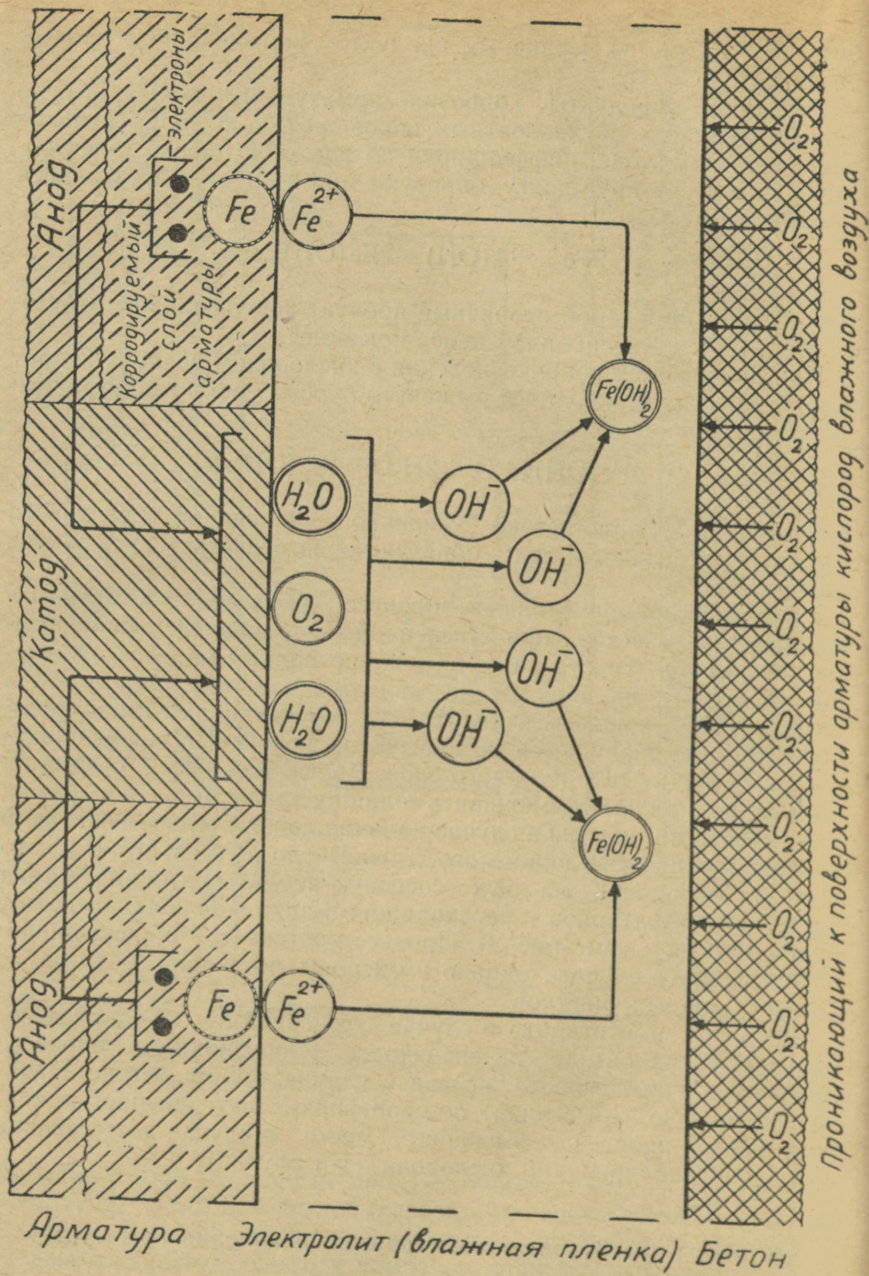


Рис. 2. 2-й случай. Схема коррозионного процесса ржавления арматуры в случае стесненной кислородной деполяризации.

возникновение или дальнейшее развитие коррозионного процесса ржавления арматуры, должны, очевидно, заключаться в создании препятствий прониканию наружного влажного воздуха через толщу сланцезольной массы бетона к поверхности арматуры, а равно в обеспечении достаточной степени щелочности окружающей арматуру сланцезольной бетонной среды с характеристикой $pH \sim 12$ и больше.

В связи с этим особого внимания заслуживают результаты экспериментальных исследований, свидетельствующие о том, что значение величины pH твердеющего в условиях пропаривания сланцезольного бетона может в значительной степени снизиться в продолжение процесса твердения. Не исключена также возможность некоторого снижения значения pH в случае твердения сланцезольного бетона в нормальных условиях.

Поэтому все, что в той или иной степени может служить средством для создания препятствий прониканию наружного влажного воздуха (кислорода) в толщу сланцезольного бетона или средством для обеспечения достаточной степени щелочности сланцезольной бетонной среды около арматуры, будет реально содействовать сохранности арматуры в таком бетоне.

К числу мер, имеющих целью обеспечить сохранность арматуры, относятся:

а) выбор наиболее целесообразного гранулометрического состава смеси инертных компонентов (песка, гравия и щебня) с целью достижения наибольшей возможной плотности бетона;

б) изменение обычной структуры бетонной массы с сообщаемыми между собой порами в структуру с разобщенными друг от друга микропорами путем добавления к бетону натрового мыла абиетиновой смолы (по ВНИИГ в количестве 0,02% от веса вяжущего);

в) добавка к улучшенному гидравлическому кукуермиту обыкновенного цемента и

г) обволакивание арматуры цементным молоком перед установкой ее в опалубку.

Меры для предотвращения возникновения коррозионного процесса арматуры, приведенные в пунктах «в» и «г», имеют целью обеспечить необходимую щелочность среды вблизи арматуры ($pH \sim 12$). Меры же, указанные в пунктах «а» и «б», обеспечивая необходимую плотность бетона и его микроструктурный характер с разобщенными друг от друга микропорами, создают достаточные препятствия прониканию влажного наружного воздуха в толщу бетонной массы.

Все сказанное относится к сланцезольному железобетону, отвердевающему в нормальных условиях температурно-влажностного режима.

9. Использование метода пропаривания для ускорения твердения тяжелого (обычного) сланцезольного бетона и железобетона

Гидротермическая обработка бетона находит в настоящее время широкое применение при изготовлении деталей сборных бетонных и железобетонных конструкций, осуществляемых на базе обыкновенного цемента. Результаты исследовательских работ по вопросам о возможности замены обыкновенного цемента в бетонных и железобетонных конструкциях местным сланцезольным вяжущим оказались вполне положительными. В связи с этим большое народнохозяйственное значение приобретает возможность применения гидротермического метода пропаривания при изготовлении на базе сланцезольных вяжущих бетонных и железобетонных строительных деталей.

Изучение возможности применения метода пропаривания для изготовления сборных железобетонных деталей потребовало предварительного освещения ряда принципиальных вопросов, связанных со специфическими особенностями сланцезольных вяжущих. К числу таких вопросов относятся:

- 1) обеспечение равномерности изменения объема сланцезольного вяжущего в случае применения для его твердения гидротермического метода пропаривания;
- 2) прочность пропариваемого бетона в зависимости от вида сланцезольного вяжущего, продолжительности и режима пропаривания, а также от возраста бетона после пропаривания и
- 3) коррозионное состояние арматурной стали в пропариваемом сланцезольном бетоне.

10. Обеспечение равномерности изменения объема сланцезольного вяжущего

Тонкомолотая зола сжигания горючего сланца в пылевидном состоянии (кукермит гидравлический) содержит около 15,5% свободной извести (CaO) и около 22,5% свободного малоактивного кремнезема (SiO_2). Экспериментальные исследования показывают, что наличие свободной извести обуславливает неравномерность изменения объема вяжущего как в случае твердения его в нормальных условиях температурно-влажностного режима, так и в случае пропаривания в соответствующих камерах. Разница в результатах проявления неравномерности изменения объема в том или другом случае заключается лишь в степени интенсивности проявления неравномерности. При гидротермической обработке кукермита гидравлического содержащийся в нем малоактивный кремнезем SiO_2 активизируется под влиянием повышенной температуры и в связи с этим частично вступает в реакцию со свободной известью CaO . В силу этого неизбежно уменьшается степень неравномерности изменения объема. Несомненно, что с даль-

нейшим повышением температуры гидротермической обработки условия обеспечения равномерности изменения объема гидравлического кукуермита заметно улучшаются.

Также несомненно, что в случае применения соответствующей технологии пропаривания кукуермита гидравлического (применения закрытых со всех сторон форм, загрузки свободной поверхности пропариваемого бетона) потребность в использовании активных гидравлических добавок может оказаться излишней, в то время как применение таких добавок является существенно необходимым в условиях нормального твердения.

11. Коррозионное состояние арматуры в пропаренном сланцезольном бетоне

В качестве общего результата испытаний гидротермически обрабатываемого сланцезольного бетона следует отметить, что получаемые прочностные значения такого бетона являются, с точки зрения требований общесоюзных норм и стандартов, во всех отношениях удовлетворительными.

Что же касается коррозионного состояния арматуры в пропариваемом сланцезольном железобетоне, то крайне характерно, что коррозионный процесс на поверхности арматурной стали оказывается в этом случае более интенсивным, чем при твердении бетона в нормальных условиях температурно-влажностного режима. Такая повышенная интенсивность коррозионного состояния проявляется, однако, не сразу после пропаривания бетона, а по истечении некоторого более или менее продолжительного промежутка времени (одного месяца и более). Не менее характерным является и то обстоятельство, что некоторые меры, содействующие предотвращению коррозионного процесса арматуры и рекомендуемые в отношении сланцезольного железобетона, твердеющего в нормальных условиях температурно-влажностного режима*, оказываются малоэффективными в отношении пропариваемого сланцезольного железобетона.

Наиболее существенное значение приобретает в рассматриваемом случае величина кислотно-щелочной характеристики pH и структура окружающей арматуру сланцезольной бетонной среды. Как уже было отмечено, в случае твердения железобетона в нормальных условиях при значениях $pH < 9,5$ беспрепятственно имеет место коррозионный процесс ржавления арматуры. При значениях же $pH > 9,5$ на поверхности арматуры образуется более устойчивая защитная пленка гидрата закиси железа, в связи с чем коррозионный процесс прекращается.

Одновременно с созданием препятствий возможному проникновению к поверхности арматуры влажного воздуха (кислорода)

* См. стр. 109.

необходимо создать в массе теста, раствора или бетона, как в среде, окружающей арматуру, условия, не благоприятствующие возникновению и дальнейшему развитию коррозионного процесса, другими словами, необходимо создать среду с $pH > 9,5$.

В связи с этим особое внимания заслуживают результаты экспериментальных исследований, свидетельствующие о том, что значение величины pH твердеющего в условиях пропаривания сланцезольного теста может, как это уже было отмечено, в процессе твердения снизиться. Этим выражается существенно важное положение в отношении теста, твердеющего в условиях пропаривания.

В таблице 4 приведены некоторые сравнительные значения величины pH , относящиеся как к используемым в настоящее время вяжущим, так и к изготовляемому из них затвердевшему в пропарочной камере тесту, определенные в водных суспензиях.

Таблица 4

Наименование вяжущих	pH		Коррозионное состояние арматуры
	порошкообразного вяжущего	измельченного в порошок цементного камня	
Кукермит гидравлический улучшенный	12,6	9	Весьма сильная коррозия арматуры
Кукермит гидравлический	—	10	Менее сильная коррозия арматуры
Кукермит (Ц 25) — смесь из 75% кукермита гидравлического улучшенного и 25% обыкновенного цемента	12,66	(10)	Слабая коррозия арматуры
Кукермит (Ц 50) — смесь из 50% кукермита гидравлического улучшенного и 50% обыкновенного цемента	12,70	(11)	Коррозии практически нет
Обыкновенный цемент	12,80	13	Коррозии нет

Примечание. Значения pH , приведенные в скобках, исчислены применительно к значениям pH , соответствующим порошкообразному вяжущему.

Из данных, приведенных в таблице 4, не трудно усмотреть почти полное совпадение значений величины pH для обыкновенного цемента в порошкообразном состоянии ($pH=12,80$) и из-

мельченного в порошок затвердевшего теста того же обыкновенного цемента ($pH=13$). В отношении же кукуермита гидравлического и кукуермита гидравлического улучшенного заметно ощутительное снижение значений величины pH для цементного камня. Значения величины pH измельченного в порошок цементного камня этих вяжущих попадают в зону, опасную в отношении вероятного возникновения или возобновления коррозионного процесса арматуры. Действительное коррозионное состояние арматуры подтверждает высказанное положение.

Результаты исследований, проведенных в течение продолжительного времени, ясно указывают на резкое улучшение коррозионного состояния арматуры в случае добавки к кукуермиту гидравлическому или кукуермиту гидравлическому улучшенному (применяемым в качестве вяжущего) обыкновенного цемента в количестве 25—50% от веса вяжущего (кукуермит Ц 25 и Ц 50), причем в случае добавки обыкновенного цемента в количестве 50% коррозия арматуры практически прекращается.

Следует отметить, что для изготовления железобетонных конструктивных деталей на сланцезольном вяжущем приходится вследствие высоких нормативных требований прочности пользоваться сланцезольными вяжущими, содержащими до 50% обыкновенного цемента, т. е. то же самое количество, которое требуется в виде добавки к сланцезольному вяжущему для предотвращения коррозионных явлений на поверхности арматуры в сланцезольном бетоне. Таким образом, добавкой обыкновенного цемента к сланцезольному вяжущему (кукуермиту гидравлическому и кукуермиту гидравлическому улучшенному) с наибольшим успехом решаются две тесно между собой связанные задачи: во-первых, достижение требуемой высокой марки сланцезольного вяжущего, предназначенного для изготовления железобетонных конструкций и деталей и, во-вторых, предотвращение опасности повреждения арматуры коррозионным процессом ржавления.

Возможность и целесообразность применения ингибиторов, замедлителей коррозии, как меры предотвращения коррозионного процесса ржавления арматуры, находится пока еще в стадии лабораторных исследований. В качестве ингибитора намечено использование нитрита натрия.

В связи с высказанным положением следует признать, что на данном этапе состояния исследования мер предотвращения коррозионных явлений на поверхности арматуры железобетонных конструкций, изготавливаемых на сланцезольном бетоне, единственной реальной мерой оказывается добавка к вяжущему типа кукуермита гидравлического или кукуермита гидравлического улучшенного обыкновенного цемента в количестве 25—50%.

12. Применение тяжелого (обычного) сланцезольного бетона в бетонных и железобетонных конструкциях

С целью широкого применения сланцезольного бетона в железобетонных конструкциях нужно было доказать следующее:

1) удовлетворительна ли совместная работа бетона и арматуры и

2) применимы ли для расчета прочности сланцезольных железобетонных конструкций те же методы и те же расчетные формулы, которые установлены общесоюзными стандартами и нормами для железобетонных конструкций, изготовляемых на обыкновенном цементе.

Принимая во внимание, что в случае железобетона совместная работа бетона и арматуры проявляется наиболее рельефно при изгибе, для получения необходимых доказательств была изготовлена на сланцезольных вяжущих серия железобетонных балок. Они были испытаны на изгиб вплоть до их разрушения, что дало возможность проследить ход развития отдельных стадий напряженного состояния испытываемых балок.

Результаты испытаний опытных балок очень убедительно показали полную возможность использования сланцезольных вяжущих для изготовления железобетонных конструкций, применяемых в жилищном, сельскохозяйственном и культурно-бытовом строительстве.

В связи с этим необходимо было немедленно же приступить к внедрению достигнутых результатов в строительстве.

Цель опытного строительства заключалась в контроле результатов лабораторных исследований уже в условиях конкретного строительства и в приобретении некоторого опыта в изготовлении железобетонных деталей на базе сланцезольных вяжущих в производственных условиях. В качестве строительного объекта было использовано небольшое двухэтажное здание Экспериментальной базы Института растениеводства Академии наук ЭССР в г. Таллине. Железобетонными конструкциями, примененными в названном здании, являлись: междуэтажные и чердачные перекрытия, состоящие из железобетонных балок и плит, а также оконные и дверные перемычки.

Испытание несущей способности перекрытий здания Экспериментальной базы нагрузкой (кирпичами), соответствующей расчетной полезной нагрузке, с определением прогибов — дало вполне удовлетворительные результаты.

В качестве примера применения сланцезольного бетона в сельскохозяйственном строительстве можно привести бетонные работы (по устройству пола и яслей коровника), выполненные под руководством старшего преподавателя Таллинского политехнического института В. Х. Кикаса в совхозе «Пенинги» вблизи г. Таллина.

13. Пенобетон на сланцезольном вяжущем

В заключение следует указать на возможность применения сланцезольного пенобетона в жилищном и в особенности в сельскохозяйственном строительстве в Эстонской ССР.

Современное ускоренное строительство типовых жилых зданий и сельскохозяйственных построек (коровников, свинарников, овчарен и др.) основано на индустриальном изготовлении элементов зданий и построек и механизированном монтаже их на месте строек. В связи с тем, что в условиях Эстонской ССР в жилищном, сельскохозяйственном и культурно-бытовом строительстве обыкновенный цемент (являющийся обычно основой пенобетонного строительства) успешно может быть заменен сланцезольным вяжущим, неизбежно возникает потребность в использовании для ускоренного строительства типовых жилых зданий и сельскохозяйственных построек крупных пенобетонных блоков и сборных деталей перекрытий, изготовляемых на местных сланцезольных вяжущих.

В качестве вяжущих для изготовления пенобетона и строительных элементов — деталей достаточно успешно может быть использован как кукурмит гидравлический, так и кукурмит обыкновенный. Очень хорошие результаты были также достигнуты в случае применения в качестве вяжущего натуральной немолотой золы сжигания горючего сланца в пылевидном состоянии.

Результаты лабораторных исследований показывают, что в случае пропаривания в продолжение 20 часов при температуре 80°C сланцезольный пенобетон обладает достаточной прочностью (от 5 до 50 кг/см^2) при вполне удовлетворительном весе (в пределах $0,6\text{—}1,0 \text{ т/м}^3$) (рис. 3). Такой материал вполне пригоден для изготовления, например, стеновых блоков для сельскохозяйственных построек.

Повышение прочности пенобетона легко может быть достигнуто путем увеличения продолжительности пропаривания, например, до 40 часов с сохранением прежнего объема веса.

Из сланцезольных вяжущих изготовлялись крупные стеновые пенобетонные блоки размерами $1,25 \times 1,20 \times 0,35$ метров, офактуренные с одной стороны. Все блоки изготовлялись состава 1:0, т. е. из одного лишь вяжущего, без добавок.

Вполне удовлетворительными оказываются в данный момент также результаты испытания пенобетонных образцов на морозостойкость. Они легко выдерживают 15-кратное и даже 25-кратное попеременное замораживание и оттаивание. Это является весьма ценным свойством материала.

В общем надо признать, что изготовление сланцезольных пенобетонных деталей, как дело совершенно новое, требует еще дальнейшего изучения и приобретения необходимого практического

14. Заключение

Проведенными по настоящее время исследованиями затрагиваются все без исключения случаи возможной замены обыкновенного цемента в жилищном, сельскохозяйственном и культурно-бытовом строительстве сланцезольным вяжущим. Вместе с тем устанавливаются в виде «Временных технических указаний» требования, соблюдение которых обеспечивает надежное применение сланцезольного вяжущего для указанных целей. На достигнутые до настоящего времени хотя и заметные успехи — как в области исследований основных свойств сланцезольных вяжущих, так и в отношении применения указанных вяжущих для изготовления тяжелого (обычного) бетона и железобетона, а также для изготовления пенобетона — можно и должно смотреть как на результат лишь первого, наиболее трудоемкого и решающего этапа исследовательских работ. В дальнейшем исследовательская работа, несомненно, будет ограничиваться расширенным и углубленным изучением лишь некоторых специальных вопросов, касающихся наиболее целесообразного использования сланцезольного вяжущего, и главным образом внедрением результатов, достигнутых исследовательскими работами первого этапа исследований.

В связи с этим весьма существенное значение приобретает экономика использования сланцезольного вяжущего главным образом в качестве заменителя обыкновенного цемента в бетонных и железобетонных конструкциях в жилищном, сельскохозяйственном и культурно-бытовом строительстве Эстонской ССР.

Из вопросов, нуждающихся в первую очередь в дальнейшем углубленном изучении, нельзя не отметить вопрос о возникновении и дальнейшем развитии коррозионного процесса ржавления арматуры пропариваемых сланцезольных железобетонных деталей, а также вопрос о наиболее целесообразных мерах предотвращения или достаточного практического замедления названного коррозионного процесса. Вопрос этот является столь актуальным, что его надо разрешить в ускоренном порядке во избежание дальнейшей задержки в издании «Временных технических указаний», необходимых для успешного внедрения в жилищном, сельскохозяйственном и культурно-бытовом строительстве пропариваемых сланцезольных железобетонных деталей.

ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ ИЗ СЛАНЦЕВОЙ ЗОЛЫ И ПЕСКА

И. А. ХИНТ

О промышленном опыте изготовления сланцезольного камня

Первый завод сланцезольного камня вступил в строй в 1929 году при Балтийской бумагопрядильной фабрике в г. Таллине. Сырьевой материал — сланцевую золу слоевого сжигания — завод получал из котельной фабрики. Работа в котельной была организована так, что горючий сланец полностью прожигался на решетках. Сланцевая зола, содержавшая несгоревшие частицы, забраковывалась.

Технология, разработанная для изготовления кирпича, была довольно сложной. Из топки зола посредством элеватора транспортировалась в запасный бункер, оттуда в вальцы, при пропуске через которые в золу добавлялось небольшое количество воды. Далее зола поступала в лопастной смеситель, где в нее вторично добавлялась вода. После пропуски через лопастной смеситель зола поступала на бегуны, где (в зависимости от состава золы) в случае необходимости в нее добавлялось до 5% молотой извести. После повторного прохождения через вальцы материал направлялся в силосы, где в течение 8—4 часов происходило предварительное гашение его. Затем материал просеивался и поступал в гасительный барабан, где происходило окончательное гашение его в течение $\frac{1}{2}$ часа под давлением пара 8 ати. Из гасительного барабана материал снова поступал в лопастной смеситель, увлажнялся в нем еще раз. Только после всего этого начиналась формовка сырца на револьверном прессе, при давлении около 180 ати. Кирпич твердел в автоклавах в течение 10 часов при давлении пара 8 ати.

Завод выпустил до 1941 года (когда он был разрушен во время Великой Отечественной войны) всего около 50 миллионов штук кирпича. Прочность на сжатие сухого кирпича составляла 75—125 кг/см², увлажненного — на 10—20% ниже. Водопоглощение было от 14 до 18%, пористость 35—40%.

Кирпич применялся в основном для кладки перегородок и внутренних участков наружных стен. Было известно, что сланцезольный кирпич завода при Балтийской бумагопрядильной фабрике разрушался от сырости и не обладал морозостойкостью. В целях повышения качества кирпича примерно с 1935 года в золу стали добавлять песок в количестве до 3%.

В 1939—1941 гг. трест «Ленинградсланец» построил в городе Сланцы Ленинградской области завод сланцезольного кирпича. Завод успел выпустить до войны около 5 миллионов штук кирпича хорошего качества. Разрушенный во время войны завод в 1947 году был восстановлен и пущен в ход. После войны было выпущено уже около 100 миллионов штук кирпича, использованных в основном на восстановление и постройку зданий в сланцевом бассейне, а также на стройках Ленинграда.

На заводе зола для изготовления сланцезольного кирпича берется из старых отвалов и размалывается в молотковых мельницах. Сухие зола и песок перемешиваются в лопастном смесителе при соотношении 50 : 50. Дозировка производится тарельчатыми дозаторами, пообъемно.

Из смесителя материал направляется в запасный бункер, оттуда снова в лопастной смеситель, где в смесь добавляется требуемое количество воды. Формование производится на револьверном прессе; твердение, как обычно в производстве силикатного кирпича, происходит в автоклавах. Так как на старых отвалах зола полностью погасла, то до настоящего времени не было необходимости пополнять технологию применением гасильного агрегата. Качество этого кирпича одинаково с качеством силикатного кирпича и он паспортизируется по соответствующему ГОСТ. Кирпич выдерживает не менее 15 замораживаний.

В 1945 году завод силикатного кирпича «Кварц» выпустил около 600 000 штук кирпича из сланцевой золы (взятой из котлов целлюлозной фабрики имени В. Кингисеппа) и песка. Количество золы в смеси составляло около 25—30%. Зола и песок перемешивались в смесительном барабане, где происходило также гашение золы в течение 45 минут при давлении пара около 4 ати. Так как зола не размалывалась, то в случае попадания в смесь крупных кусков ее, на кирпичах наблюдались набухания. Прочность кирпича на сжатие превышала 150 кг/см². Кирпич обладал достаточной морозостойкостью.

По имеющимся данным, до войны силикатный кирпич на базе сланцевой золы изготовлялся на Павловском и Каширском заводах силикатного кирпича.

Как показала промышленная практика, до настоящего времени невозможно было изготовление погодоустойчивого сланцезольного кирпича без добавления песка. Применение сланцевой золы в качестве вяжущего вместо извести дало во всех случаях хорошие результаты.

В 1948 году в Кохтла-Ярве трест «Газсланцестрой» стал применять для изготовления стеновых блоков новый вид золы — золу от сжигания горючего сланца в пылевидном состоянии. Смесь приготавливалась примерно (по объему) из 2 частей золы пылевидного сжигания и 3 частей золы слоевого сжигания, продолжительное время лежавшей на отвалах и просеянной через сито с отверстиями в 40 мм. В целях более полного гашения золы пылевид-

ного сжигания она предварительно выдерживалась на воздухе в течение 5 суток. Смесь увлажнялась в смесителе и прессовалась трамбованием в формах в блоки размерами $25 \times 12 \times 13$ см: Блоки затвердевали в пропарочной камере при температуре $70-85^\circ$ в течение примерно 36 часов. Прочность на сжатие блоков составляла $50-80 \text{ кг/см}^2$, но погодоустойчивость их была недостаточной.

Лабораторные и промышленные опыты по изготовлению силикатного кирпича на базе сланцевой золы пылевидного сжигания как вяжущего

В 1950 году Институт строительства и строительных материалов АН ЭССР в сотрудничестве с лабораторией завода силикатного кирпича «Кварц» приступил к выяснению возможности замены извести золой пылевидного сжигания сланца при изготовлении силикатного кирпича. Зола доставлялась для лабораторных исследований и заводских испытаний в период с августа 1950 по декабрь 1951 из подмультициклонного бункера в Кохтла-Ярве в количествах от $\frac{1}{2}$ до 7 тонн. Свойства золы колебались в следующих пределах:

потери при прокаливании	1,5—2,5%
удельная поверхность	1400—1800 $\text{см}^2/\text{г}$
суммарное содержание CaO	35—55%
содержание свободной CaO	14—30%
суммарное содержание SiO_2	22—50%
содержание нерастворимой SiO_2	15—30%

Как видно, физико-химические свойства зол из отдельных партий значительно расходятся между собой, за исключением постоянной и небольшой величины потери при прокаливании. Это говорит о том, что на ТЭЦ № 2 в Кохтла-Ярве органическая часть сланца практически сжигается полностью.

Для выяснения особенностей процесса гашения этой золы был произведен целый ряд опытов, в ходе которых выяснилось следующее:

1. В том случае, когда в процессе гашения использовано воды больше, чем необходимо для гашения содержащейся в золе извести, зола уже при обычном атмосферном давлении связывает в течение $\frac{3}{4}$ часа количество воды, превышающее теоретически требуемое. При дальнейшем гашении количество связанной воды увеличивается вдвое.

2. Гашение при обычном давлении дает сланцезольно-песчаные смеси, обладающие постоянством объема лишь в тех случаях, когда количество воды превышает теоретически требуемое не более чем в два раза. Такие переувлажненные смеси приобретают при гашении постоянство объема после 6—8-часового пребывания

в силосе только при температуре не ниже 80° . Однако начинающееся при этом твердение золы существенно препятствует нормальному процессу гашения смеси. Количество воды, химически связанной при гашении, не является критерием постоянства объема.

3. Постоянство объема золы при различных условиях твердения неодинаково. Наибольшие затруднения в отношении сохранения постоянства объема возникают при автоклавной обработке изделий и в меньшей степени при пропаривании в паровых камерах. Твердение при нормальной температуре во влажном воздухе всегда гарантирует хорошее качество изделий.

4. Золы с полным постоянством объема получают при гашении их или сланцезольно-песчаных смесей в обычном гасительном барабане при давлении пара 4 ати в течение примерно 50 мин. При этом в барабан необходимо подавать воду в достаточном количестве. Сухая зола гасится в барабане очень медленно.

5. Увеличение длительности гашения и употребляемого при этом количества воды снижает прочность кирпича на 10—15%, если он твердеет в пропарочной камере. При запаривании в автоклавах прочность изделий практически не зависит от скорости гашения золы.

6. Увеличение при гашении количества воды и скорости гашения снижает формуемость изделий. Вообще сланцезольно-песчаные смеси, гашенные под давлением пара в гасильном барабане, формируются лучше зол, гашенных в силосах или пропарочных камерах. Худшая уплотняемость зол обуславливается склеиванием частиц в крупные агрегаты.

Опыты по формуемости сланцезольно-песчаных смесей показали, что по удобообрабатываемости они уступают известково-песчаным смесям. Сланцезольно-песчаные смеси обладают удовлетворительной удобообрабатываемостью при содержании примерно 25% золы. В таблице 1 приводятся технические показатели, фактические и относительные прочности на сжатие изделий из различных сланцезольно-песчаных смесей, формованных под давлением 200 ати.

Из таблицы видно, что формованием сланцезольно-песчаных смесей на обычном револьверном прессе можно изготовить кирпич со значительной прочностью: при автоклавной обработке и 30% содержании золы — до 350 кг/см^2 ; в паровой камере, при 40—50% содержании золы — до 250 кг/см^2 . Соответствующие опыты показали, что увеличение времени запаривания (более восьми часов) не повышает прочности кирпича. Установлено, что изделия из сланцезольно-песчаных смесей получают в автоклаве максимальную прочность значительно скорее известково-песчаных изделий. В пропарочной камере, при длительности пропаривания до 450 часов, все еще можно было наблюдать повышение прочности. Вообще же, в производстве сланцезольного кирпича

Таблица 1

В сухой смеси %		Формовочная влажность изделия %	Образцы запаривались в автоклаве 8 часов, при 9 ати					Образцы пропаривались 36 часов при 80—90°С		
гашеной золы	песка		Объемный вес сухого вещества г/см ³	Водопоглощение %	Прочность на сжатие кг/см ²	Относительная прочность на сжатие в % от максимальной прочности на сжатие	Образец после 15-кратного замораживания	Объемный вес сухого вещества г/см ³	Прочность на сжатие кг/см ²	Относительная прочность на сжатие в % от максимальной прочности на сжатие
10	90	5,5	1,84	10,3	96	30	цел	1,82	50	20
20	80	6,5	1,95	10,7	255	73	„	1,92	150	53
30	70	7,0	1,95	11,1	350	100	„	1,94	215	80
40	60	7,5	1,56	13,4	320	91	„	1,88	250	98
50	50	8,0	1,77	15,6	300	86	„	1,78	255	100
60	40	8,5	1,67	18,7	305	87	разрушен	1,72	225	88
70	30	9,0	1,61	19,8	260	74	„	1,63	220	86
80	20	9,5	1,54	24,0	210	60	„	1,54	190	75
90	10	10,0	1,43	25,0	205	58	„	—	—	—
100	0	10,4	1,40	26,5	205	58	„	1,40	160	63

пропарка в камерах дольше 30 часов не является экономичной. Например, если принимать прочность, полученную при 30-часовом пропаривании, за 100, то прочность при 15-часовой пропарке оказывается равной 80%, при 50-часовой — 105%, 150-часовой — 125% и 450-часовой — 135%.

Результаты лабораторных работ были проверены промышленными опытами. В заводских условиях на промышленных агрегатах был изготовлен сланцезольно-песчаный кирпич. В итоге было произведено 7 промышленных опытов, в том числе шесть на заводе «Кварц» и один на заводе «Силикат». Данные о прочности кирпича приведены в таблице 2.

Объемный вес кирпича, полученного при промышленных опытах, колебался от 1,75 до 1,90 г/см³, водопоглощение 13—15%. Все кирпичи отдельных партий имели постоянную прочность и отвечали требованиям, предъявляемым силикатному кирпичу по ГОСТ 379—53.

На основе проведенных опытов в 1954 году были составлены временные технические условия и указания по применению золы пылевидного сжигания горючего сланца в качестве заменителя извести для заводов силикатного кирпича «Кварц» и «Силикат».

Таблица

Промышленный опыт №	Дата опыта	Место опыта	Прочность на сжатие кг/см ²			
			при автоклавной обработке		в пропарочной камере	
			средняя	минимальная и максимальная	средняя	минимальная и максимальная
1	Октябрь 1950	Завод «Кварц»	140	—	—	—
2	"	" "	240	—	—	—
3	"	" "	210	—	150	—
4	"	" "	250	—	160	—
5	Январь 1951	" "	247	200—275	—	—
6	"	" "	204	183—212	142	126—168
7	Декабрь 1951	" «Силикат»	210	170—236	—	—

Проектным и научно-исследовательским институтом Министерства местной и сланце-химической промышленности ЭССР на основе этих указаний составлен проект перевода обоих заводов на применение золы пылевидного сжигания сланца. Экономическая часть проекта показывает годовую экономию в 1,4 миллиона рублей. Проект был утвержден республиканским и союзным министерствами промышленности строительных материалов, и последнее выделило необходимые для строительства суммы. К сожалению, эти возможности остались неиспользованными. На заводах «Кварц» и «Силикат» и по настоящее время ничего не предпринимается для использования золы пылевидного сжигания сланца.

О некоторых вопросах образования монолита

На основании результатов химических анализов золы пылевидного сжигания горючего сланца, гашеной золы пылевидного сжигания горючего сланца, пропаренных и запаренных сланцевых зол и сланцезольно-песчаных смесей можно констатировать следующее.

1. Относительное количество компонентов в золе и гашеной золе одинаково, за исключением химически связанной воды. Следует отметить, что количества растворимой кремнекислоты, окиси алюминия и нерастворимого осадка не изменяются операцией гашения. Гашение не изменяет существенно и количества свободной извести.

2. При гашении 15—20% химически связываемой воды расходуется не на соединение со свободной известью.

3. Примерно равные количества воды связываются химически при 3-часовом запаривании и при 20-часовом пропаривании.

4. Процент растворимой кремнекислоты, вычисленный на гашеную золу при специально произведенном опыте, в образце из чистой золы возрос в течение 20-часового пропаривания с 15,4 до 17,6 и до 24,2 — при запаривании. В то же время нерастворимый осадок (определенный по ГОСТ 5382—50) уменьшился с 21,6 до 18,1% при пропаривании и до 10,5% при запаривании. В общем, суммарное количество нерастворимого осадка и растворимой кремнекислоты уменьшается в следующем порядке: гашеная зола, пропаренный образец, запаренный образец. Это обуславливается, по всей вероятности, переходом содержащихся в нерастворимом осадке алюминиевых соединений в растворимую форму.

5. При пропаривании чистой золы количество (вычисленное на гашеную золу) свободной извести уменьшалось с 14,3 до 3,64% и до 0,7% — при запаривании. Количество свободной извести при пропаривании образцов из сланцезольно-песчаной смеси понижается в той же мере, при запаривании же падает до нуля.

Отсюда следует, что практически при пропаривании песок принимает участие в образовании монолита только в качестве инертного заполнителя. При запаривании он участвует в образовании вяжущего, но в значительно меньшей мере, чем при известково-песчаных смесях, где значительная часть песка переходит при запаривании в растворимую форму. Отсюда следует, что при изготовлении силикатного кирпича из золы пылевидного сжигания горючего сланца и песка на последний практически можно смотреть лишь как на заполнитель, и с точки зрения образования вяжущего можно отказаться от требований, предъявляемых к песку в отношении величины удельной поверхности.

Количества нерастворимого в соляной кислоте остатка и свободной извести уменьшаются, а количество растворимой кремнекислоты увеличивается только при водотермической обработке, главным образом при запаривании. Это обстоятельство показывает, что при водотермической обработке происходят физико-химические процессы, которые при обычной температуре не протекают или протекают крайне медленно и в результате которых вяжущие свойства приобретают такие компоненты золы, которые оставались инертными в золе, твердевшей при обычной температуре. То, что при пропаривании золы количество свободной извести значительно уменьшается, указывает на ценность золы пылевидного сжигания сланца как вяжущего также и при твердении в пропарочной камере. При необходимости изготовления качественных монолитов, затвердевающих при обычной температуре, необходимо вносить в золу кислотные активные добавки и изменять ее структуру, например, при помощи помола.

Так как проведенные нами исследования показали, что при автоклавной обработке в образовании вяжущего принимает участие и слабо связанная известь, то при запаривании качество золы пылевидного сжигания сланца должно, в общем, оказаться стабильным, что подтверждают и вышеуказанные опыты. Так как

химический и минералогический состав золы ТЭЦ № 2 в Кохтла-Ярве непостоянен, то в пропарочной камере нельзя всегда получать изделия с такими же высокими и стабильными техническими показателями, как в автоклаве. Поэтому обработку наиболее ответственных строительных конструкций, изготавливаемых из золы пылевидного сжигания горючего сланца и песка, необходимо обязательно производить в автоклаве. Но из сланцезольно-песчаных смесей можно готовить доброкачественные стеновые материалы при пропаривании в камере. Учитывая это, Институтом строительства и строительных материалов АН ЭССР были составлены указания по технологии производства сланцезольно-песчаного кирпича в пропарочных камерах. Соответствующее предприятие построено в системе промкооперации ЭССР и в ближайшем будущем приступит к работе.

О возможности изготовления строительных деталей из немолотых, не содержащих добавок смесей золы пылевидного сжигания горючего сланца и песка при обработке смеси в дезинтеграторе

Возможности изготовления строительных деталей из необработанных смесей золы пылевидного сжигания сланца и песка специально изучались в 1951 году. При этом выяснилось, что смеси золы пылевидного сжигания сланца и песка довольно эффективно уплотняются также вибрированием. Прочность изделий, приготовленных из дезинтегрированных смесей, вибрированных и запаренных, составляла при применении 25—40% золы 150—200 кг/см², объемный вес — от 1,6 до 1,75 г/см³, который уменьшался с увеличением количества золы. Прочность изделий, трамбованных в формах, доходила до 300 кг/см². Прочности на сжатие изделий, приготовленных из недезинтегрированных смесей, были примерно на 30% ниже. Большая прочность изделий из дезинтегрированных смесей обуславливается в основном лучшим смешением компонентов и изменением геометрической формы зерен песка в дезинтеграторе. Образующиеся при помолу новые, активные поверхности зерен песка не необходимы при запаривании сланцезольно-песчаных изделий, так как сама зола пылевидного сжигания сланца содержит кристаллическую SiO₂ в мелком виде и сравнительно активном состоянии в количестве, достаточном для связывания свободной извести. Поэтому естественно, что при применении золы эффект дезинтегрирования в десятки раз меньше, чем при известково-песчаных смесях. Прочность пропаренных вибрированных изделий по сравнению с прочностью запаренных изделий незначительна и достигает максимумом 100 кг/см². В среднем она была в 2,5 раза меньше прочности соответствующих запаренных образцов. Поэтому изготовление высококачественных строительных деталей пропариванием в паровой камере из необработанной золы невозможно. Уплотненные вибрированием и за-

паренные образцы всегда выдерживают без разрушения 25-кратное замораживание.

Приведенные выше данные показывают, что из необработанных смесей золы пылевидного сжигания горючего сланца и песка можно изготавливать при уплотнении вибрированием и при автоклавной обработке различные строительные детали. При этом целесообразно смешивать компоненты в дезинтеграторе. Помол в дезинтеграторе не нужен. При пропаривании же в паровой камере можно из сланцезольно-песчаных смесей изготавливать стеновые блоки удовлетворительной прочности (до 100 кг/см²). Их следует применять в сельском строительстве, при производстве индустриальных строительных деталей, когда организация автоклавной обработки представляет затруднения.

Выводы

В итоге можно сказать, что зола пылевидного сжигания горючего сланца в том виде, в каком она скопится в бункерах котельных, является ценным вяжущим материалом для изготовления силикатного кирпича и различных строительных деталей. Следует считать непозволительным малое использование этого материала в народном хозяйстве.

С этой стороны самооправдывание некоторых наших хозяйственников тем, что в Кохтла-Ярве еще не построен завод для помола золы, не выдерживает критики. Весь вопрос сводится лишь к организации транспорта золы к местам потребления.

Здесь следует еще подчеркнуть, что наши теоретические знания в части образования сланцезольно-песчаного монолита еще весьма недостаточны. Поэтому можно полагать, что использованы далеко не все возможности, которые это вяжущее может дать для производства строительных материалов.

Повидимому, твердеющие в автоклаве смеси золы пылевидного сжигания горючего сланца и песка можно рассматривать в качестве богатых примесями, малоактивных известково-песчаных смесей. Так как практически известково-песчаные смеси нередко изготавливаются из песков, содержащих до 20% примесей, то ясно, что вопросы образования монолита при автоклавном твердении как при сланцезольно-песчаных, так и известково-песчаных смесях практически те же самые. Если учитывать это, станет понятным, что ключом к разрешению вышеприведенных теоретических вопросов в случаях автоклавного твердения смесей золы и песка является, как и при известково-песчаных смесях, выяснение процессов автоклавного твердения смесей чистой извести и песков. До тех пор, пока еще не вполне выяснены вопросы твердения чистых смесей, нет надежды на окончательное разрешение вопросов твердения богатых примесями смесей.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ПЫЛЕВИДНОГО СЛАНЦА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Х. Х. КОРРОВИЦ

Одним из основных путей снижения стоимости строительных работ, повышения производительности труда в строительстве и сокращения сроков строительства является значительное увеличение выпуска деталей и конструкций заводского изготовления из бетона и железобетона. Не менее важной задачей является снижение стоимости деталей и уменьшение расхода высококачественного портландцемента для изготовления их.

Исходя из этих соображений, в настоящей статье показывается возможность применения золы пылевидного сжигания прибалтийского горючего сланца (кукерсита) для изготовления бетонных и железобетонных строительных деталей.

Зола пылевидного сжигания сланца-кукерсита, или пылевидная зола, получается в настоящее время на электростанциях в Кохтла-Ярве и Ахтме в количестве 400 тонн в сутки. Эта зола характеризуется в естественном, немолотом, состоянии в отношении вяжущих свойств неравномерностью изменения объема, слабой гидравлическостью при твердении, медленным твердением и незначительной прочностью.

Непостоянство вяжущих свойств немолотой пылевидной золы, получаемой в разное время даже из одной топки, объясняется главным образом колебанием режима сжигания сланца в топках. Режим сжигания значительно влияет на ход реакций в твердом состоянии, определяющих минералогический состав золы. При этом валовой химический состав пылевидной золы, по данным инженера-химика Х. Я. Мяндретса, колеблется в ограниченных пределах (содержание СаО от 37 до 41%).

Хотя вяжущие свойства пылевидной золы выше тех же свойств золы кускового сжигания, все же марка немолотой пылевидной золы, составляющая от 20 до 70 кг/см², а также неравномерность изменения объема при твердении не удовлетворяют строителей. Для улучшения вяжущих свойств пылевидной золы в случае нормального твердения применяются следующие меры:

1. Помол золы, повышающий марку до 70—150 кг/см², уменьшающий неравномерность изменения объема и повышающий морозостойкость сланцеозольного камня.

2. Введение активных кислых минеральных добавок (трепел, глинист, диатомит, сиштоф). В результате этого марка золы повы-

шается до 150—250 кг/см² и достигается равномерность изменения объема, соответствующая требованиям, предъявляемым к романцементу.

3. Предварительное гашение золы.

На основании проведенных в Институте строительства и строительных материалов исследований по применению пылевидной золы для изготовления бетонных и железобетонных деталей предлагается для улучшения вяжущих свойств этой золы использовать тонкий помол золы и гидротермальную обработку деталей.

Основные технологические вопросы изготовления деталей из пылевидной золы

Многочисленными лабораторными опытами, а также результатами работ по изготовлению деталей в производственных условиях доказана возможность изготовления бетонных и железобетонных деталей из тонкомолотой пылевидной золы путем гидротермальной обработки без какого-либо гашения золы в том случае, если применяются пластические бетонные смеси, твердеющие в формах. Эта возможность объясняется тем, что гашение $\text{CaO}_{\text{своб}}$ золы при гидротермальной обработке происходит раньше, чем схватывание и твердение сланцезольного бетона. Опытами доказано, что добавка трепела к золе в случае гидротермальной обработки практически не повышает прочности сланцезольного камня (табл. 1).

Таблица 1

Вяжущее	Вид смеси	Условия твердения			Прочность кубиков * в кг/см ²
		Гидротермальная обработка		Нормальное твердение в месяцах	
		°С	час		
Немолотая пылевидная зола, негашеная	Тесто нормальной густоты	80	40	—	73
То же	„	—	—	1	41
Молотая пылевидная зола, негашеная (гидравлический кукурмит)	„	80	40	—	176
То же	„	—	—	1	73
Молотая пылевидная зола + 20% трепела (гидравлический кукурмит улучшенный)	„	80	40	—	130
То же	„	—	—	1	100

* Размер кубиков 3×3×3 см.

Изучение особенностей технологии изготовления деталей из сланцезольного бетона на молотой пылевидной золе с применением гидротермальной обработки показало следующее.

1. Детали из сланцезольного бетона следует подвергать гидротермальной обработке непосредственно после их формовки. Это требование хорошо согласуется с заводским методом изготовления деталей.

2. В случае появления объемных изменений (разбухания) необходимо для ликвидации их при гидротермальной обработке закрывать формы крышками и нагружать последние небольшим грузом ($0,06 \text{ кг/см}^2$).

3. Характер твердения золы и портландцемента (т. е. изменение их прочности в зависимости от температуры и продолжительности твердения) не одинаков. Оптимальные температуры и продолжительность гидротермальной обработки для этих вяжущих различны. Для золы применение гидротермальной обработки дает лучшие результаты, чем для портландцемента. Следовательно, мы имеем дело с различными типами твердения.

4. Оптимальные режимы гидротермальной обработки сланцезольного бетона следующие:

а) температура при запаривании от 180 до 220°C и продолжительность запаривания от 4 до 15 часов (достигается максимальная прочность раствора);

б) пропаривать следует в продолжение 40 часов при температуре не ниже 80°C (достигается необходимая монтажная прочность сланцезольного бетона).

Зависимость прочности бетонов с различным содержанием портландцемента от продолжительности пропаривания при 80°C показана на рис. 1. Добавка к золе портландцемента при пропаривании бетона не столько необходима для повышения прочности бетона (в пределах от 100 кг/см^2 до 200 кг/см^2),

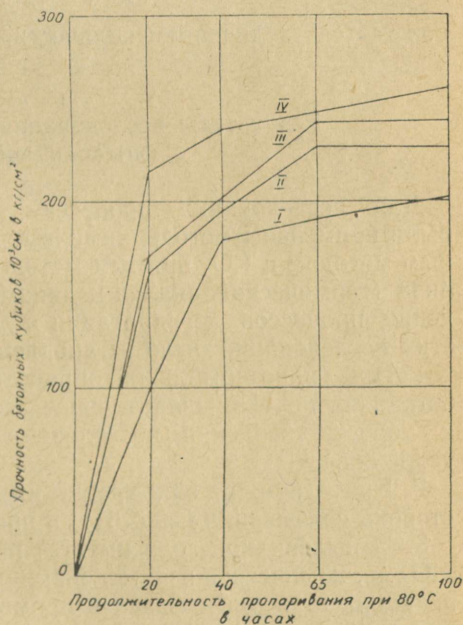


Рис. 1. Зависимость прочности бетонных кубиков от продолжительности пропаривания при 80°C ($B/C = 0,56$; $OK = 0-2 \text{ см}$). Вяжущие: I — молотая пылевидная зола; II — молотая пылевидная зола + 25% портландцемента марки «400»; III — молотая пылевидная зола + 50% портландцемента марки «400»; IV — портландцемент марки «400».

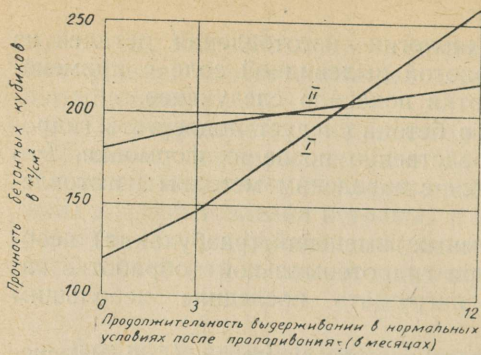


Рис. 2. Зависимость прочности бетонных кубиков, пропаренных в течение 40 (I) и 100 часов (II), от продолжительности выдерживания их в нормальных условиях после пропаривания. Вяжущее — молотая пылевидная зола ($V/C = 0,65$; ОК = 0—2 см).

вождается увеличением количества химически связанной воды.

сколько для сокращения времени пропаривания.

5. Нарастание прочности сланцевого бетона после гидротермальной обработки зависит от режима этой обработки (рис. 2). А именно, с увеличением интенсивности гидротермальной обработки (повышением температуры и удлинением продолжительности обработки) дальнейшее повышение прочности после такой обработки идет медленнее. Как показали результаты динамического взвешивания, это явление сопро-

Результаты исследования процесса твердения пылевидной золы

Для исследования процесса твердения пылевидной золы были применены методы химического (определяли CaO глицератным методом и CO_2 прямым методом) и физико-химического анализа (термический анализ и динамическое взвешивание для изучения процессов дегидратации и декарбонизации). В результате этих исследований было установлено следующее.

1. При гидротермальной обработке сланцевого раствора и бетона происходит значительное увеличение скорости гидратации и скорости твердения, по сравнению с твердением в нормальных условиях.

2. Критерием степени твердения пылевидной золы является степень связывания $Ca(OH)_2$ в процессе твердения (рис. 3).

3. В пылевидной золе имеется примерно 15% $CaO_{своб}$ и 20% $SiO_{2своб}$, химическое взаимодействие которых не имело места при реакциях в твердых фазах в промышленной топке из-за отсутствия необходимых предпосылок. Факторами, затрудняющими это взаимодействие, являются дифференциация состава неорганической части сланца (содержание CaO в отдельных фракциях зерен колеблется от 7 до 70% — по данным И. Эпика) и короткое время пребывания частиц при необходимых температурах. При гидротермальной обработке создаются благоприятные условия для химической реакции между $Ca(OH)_2$ и SiO_2 .

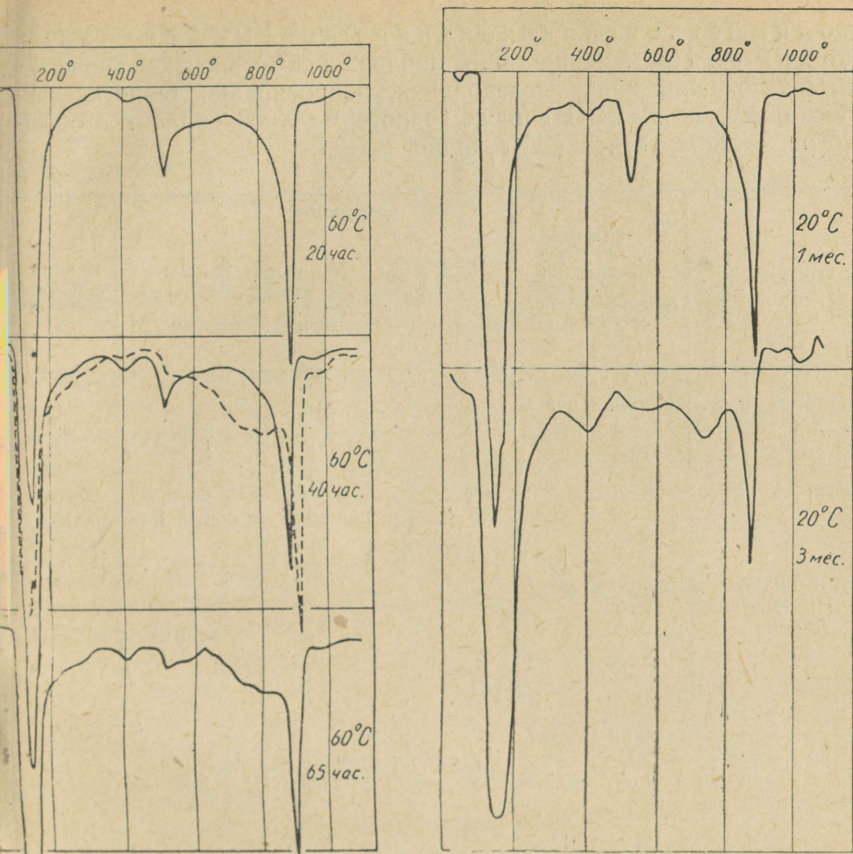


Рис. 3. Термограммы гидратированной в различных условиях пылевидной золы.

4. Химическое взаимодействие $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и SiO_2 в золе с образованием гидросиликата кальция при твердении в нормальных условиях происходит очень медленно (рис. 3). Эффективность применения активных кислых добавок объясняется тем, что в нормальных условиях твердения активность $\text{SiO}_{2\text{своб}}$ кислых добавок намного больше, чем $\text{SiO}_{2\text{своб}}$ золы. Одним из возможных способов повышения активности $\text{SiO}_{2\text{своб}}$ золы является повышение температуры твердения (гидротермальная обработка). В этом случае активность $\text{SiO}_{2\text{своб}}$ золы увеличивается настолько, что в течение оптимальной продолжительности пропаривания (40 час. при 80°C) или запаривания обычно вся $\text{CaO}_{\text{своб}}$ связывается в гидросиликат (табл. 2 и рис. 3). Отсюда вытекает важный практический вывод: применение гидротермальной обработки исключает необ-

ходимость использования кислых активных добавок. Применение таких добавок невыгодно экономически и, как показали наши исследования, необосновано теоретически, поскольку вся $\text{Ca}(\text{OH})_2$ после гидротермальной обработки обычно оказывается связанной в гидросиликаты.

Таблица 2

Вязущее	Затвердевшее тесто*, раствор** или порошок вязущего в водной суспензии	Режим твердения		Наличие $\text{CaO}_{\text{своб}}$	Водородный показатель pH	
		Гидротермальная обработка				
		°C	час.			
Молотая пылевидная зола	Порошок вязущего	—	—		12,37	
	Тесто	—	—	1	—	
	"	—	—	3	—	
	"	80	20	—	мало	10,70
	"	80	40	—	нет	—
Портландцемент марки «400»	Раствор	80	40	—	мало	10,67
	"	179	8	—	почти нет	10,50
	"	—	—	—	" "	8,73
	Порошок вязущего	—	—	—	нет	—
	Тесто	—	—	1	мало***	12,45
Портландцемент марки «400»	"	—	—	3	много	—
	"	80	40	—	"	—
	"	179	8	—	"	12,25
	Раствор	179	8	—	"	11,75

* Тесто нормальной густоты.

** Раствор состава 1:3 нормальной пластичной консистенции.

*** В порошке портландцемента появился $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при определении водородного показателя.

5. Таким образом, из вышеизложенного вытекает, что пустая порода в сланце (представляющая собой известковый мергель), обогащающая при сжигании сланца золу свободной известью, является весьма желательным компонентом, так как она участвует в процессе твердения и тем самым помогает повысить вязущие свойства золы. Это особенно ясно сказывается при благоприятных условиях твердения, например при гидротермальной обработке.

6. Взаимодействию $\text{CaO}_{\text{своб}}$ и $\text{SiO}_{2\text{своб}}$ в золе благоприятствуют все приемы, помогающие уменьшить расстояние между отдельными зёрнами золы, имеющими всегда различный минералогический состав. Такими приемами могут служить: ликвидация или разрушение стекловидных поверхностей отдельных более мелких зёрен, тонкий помол и хорошее перемешивание золы, а также уплотнение смесей при формовании деталей.

7. Благодаря сложному и разнообразному минералогическому составу пылевидная зола имеет следующие основные типы твердения (в порядке значения их в процессе гидротермальной обработки):

- а) тип твердения известково-пуццоланового цемента,
- б) тип твердения малоизвесткового клинкерного цемента (типа романцемента),
- в) тип твердения шлакового цемента.

Твердение по этим типам происходит, как известно, особенно эффективно при гидротермальной обработке. Наши опыты (табл. 1) показывают, что это имеет место и при пылевидной золе.

Определение марки золы при гидротермальной обработке и метод проектирования состава пропаренного сланцезольного бетона

Изучение свойств пылевидной золы и изготовление сланцезольного бетона показали, что ввиду новизны вопроса необходимо в первое время для проектирования состава сланцезольного бетона применять экспериментальный метод. Впоследствии, при накоплении опыта и достаточного количества конкретных данных, можно перейти на проектирование состава бетонной смеси расчетным методом.

Марку молотой пылевидной золы при изготовлении деталей необходимо определять в пластичном растворе по ГОСТ в кубиках размерами $7 \times 7 \times 7$ см.

При этом твердение кубиков необходимо провести при определенном режиме гидротермальной обработки (например, при 80°C в течение 40 часов). Такая методика характеризует более близко и точно активность применяемой золы благодаря использованию пластичного раствора и гидротермальной обработки. Аналогично определяется также марка бетона.

Нами выработан простой прием для выяснения интенсивности объемных изменений отдельных партий золы при гидротермальной обработке. По этому приему при определении марки золы и марки бетона заполняют смесь две металлические формы и при гидротермальной обработке помещают одну над другой*. Соотношение прочностей кубиков верхних и нижних форм показывает интенсивность объемных изменений золы при данном режиме гидротермальной обработки. Этот прием показывает также, необходима ли вообще нагрузка форм сверху.

На основании предварительных опытов показан путь для проектирования состава бетонной смеси расчетным методом. С применением методов математической статистики выведена формула для вычисления водоцементного отношения сланцезольного бетона, которая имеет следующий вид:

$$R_G = 0,5 R_{и}^{n_2} \left(\frac{Ц}{B} + 0,55 \right),$$

* Заполненная раствором форма должна создавать давление порядка $0,03 \text{ кг/см}^2$.

где R_6 — предел кубической прочности на сжатие пропаренного сланцезольного бетона в $\text{кг}/\text{см}^2$;

$R_u^{n.1}$ — прочность золы при пропаривании в $\text{кг}/\text{см}^2$ (кубики из раствора 1 : 3 нормальной пластичной консистенции размером $7 \times 7 \times 7$ см).

$\frac{Ц}{В}$ — весовое отношение золы к воде в сланцезольном бетоне

При проектировании состава сланцезольного бетона необходимо еще учитывать, что этот бетон по сравнению с портландцементным бетоном требует воды примерно на $20-40 \text{ л}/\text{м}^3$ больше. Это объясняется большой пористостью золы и расходом воды на гашение извести в золе.

Смесь сланцезольного бетона имеет бóльшую связность и водонепроницающую способность по сравнению с бетоном на портландцементе, но меньший объемный вес и меньшую расслаиваемость.

Свойства сланцезольного бетона и железобетона

Исследования показали, что гидротермальная обработка сланцезольного бетона не только повышает прочность и значительно ускоряет твердение, но и повышает стойкость этого бетона. Тяжелый пропаренный сланцезольный бетон в общих чертах характеризуется следующими основными свойствами:

- 1) достаточной прочностью (марка до «200»),
- 2) средней морозостойкостью (25 циклов),
- 3) высокой водо- и воздухостойкостью,
- 4) достаточной стойкостью в агрессивных средах,
- 5) удовлетворительной совместной работой арматуры с бетоном

как при влиянии внешней нагрузки на детали, так и при изменении температуры и влажности окружающей среды.

Из этих данных следует, что детали из сланцезольного бетона можно применять в обычных конструкциях, где требуется морозостойкость не выше 25 циклов.

Однако необходимо иметь в виду, кроме большей коррозионной активности, еще следующие специфические свойства пропаренного сланцезольного бетона.

1. Пористость сланцезольного камня при нормальной густоте теста больше (42,2%), чем пористость портландцементного камня (30,9%).

2. Усадка сланцезольного бетона больше, чем усадка портландцементного бетона.

3. Объемный вес сланцезольного бетона ($\sim 2,25$) меньше, чем бетона на портландцементе.

4. Упруго-пластические деформации (в том числе предельные деформации и ползучесть) сланцезольного бетона больше, чем бетона на портландцементе, отсюда и модуль упругости меньше.

Причиной этого, повидимому, является меньшая степень кристаллизации продуктов твердения золы.

Все указанные свойства не мешают, однако, при хорошем уплотнении бетонной смеси, применять пропаренный сланцезольный бетон в армированных конструкциях небольших пролетов (до 6 м).

При этом расчет прочности сланцезольного железобетона можно вести с применением существующих методов и норм (Н и ТУ 3—49).

Коррозия арматуры в сланцезольном бетоне

Предварительные опыты показали, что в сланцезольном бетоне появляется более сильная коррозия арматуры, чем в бетоне на портландцементе. Эта коррозия развивается быстрее в случае гидротермальной обработки.

Опыты, проведенные на специально сконструированном коррозионном элементе, показали, что коррозия арматуры в сланцезольном бетоне относится к электрохимической коррозии с кислородной деполяризацией. Причинами электрохимической гетерогенности поверхности арматуры следует считать:

1) различные концентрации кислорода на поверхности арматуры (дифференциальная аэрация поверхности арматуры) вследствие пористости, и при том неравномерной пористости, как бетона, так, вероятно, и защитной пленки арматуры, а также вследствие нахождения арматуры на различном расстоянии от поверхности бетона;

2) различие в концентрации водородных ионов (рН) на поверхности арматуры вследствие зерновой неоднородности пылевидной золы;

3) структурную неоднородность поверхности металла.

Путем применения химических (определение серы) и физико-химических (определение рН) методов исследований доказано*, что главными причинами развития коррозии арматуры в сланцезольном бетоне следует считать низкое рН, а также и наличие сульфидной серы. Этими же исследованиями доказано, что в процессе твердения сланцезольного бетона происходит понижение рН среды-бетона от начальной величины 12,50 (для порошка золы) до 8,7 после запарки (табл. 2). Это вызывает растворение защитной пленки на поверхности арматуры. Понижение рН сланцезольного бетона объясняется, повидимому, связыванием $\text{CaO}_{\text{своб}}$ в процессе твердения (табл. 2 и рис. 3) и меньшей по сравнению с $\text{CaO}_{\text{своб}}$ растворимостью гидросиликата кальция. Для сравнения следует отметить, что в портландцементном бетоне не проис-

* Следует иметь в виду, что определение величины рН производилось не в водных растворах, присутствующих в сланцезольном камне, а в водных суспензиях порошков (примечание редактора).

ходит такого понижения рН (табл. 2) в процессе твердения из-за появления $\text{CaO}_{\text{своб}}$ в результате гидролиза алита. Поэтому в портландцементном бетоне не появляется коррозии арматуры. Однако при автоклавной обработке деталей, в случае применения кварцевого песка и кислотных добавок, рН среды портландцементного бетона также уменьшается (таблица 2), и в этом случае и здесь может появляться коррозия арматуры.

Путем снятия химическим методом (10% раствор лимонно-кислого аммония) продуктов коррозии и точного взвешивания корродированных стержней (изготовленных из арматурного железа) до и после опыта установлено, что скорость коррозии арматуры в сланцезольном бетоне составляет в среднем от 0,02 до 0,05 мм/год (рис. 4). Отсюда следует, что необходимо принимать меры для защиты арматуры от коррозии в сланцезольном бетоне.

В качестве проведенных мер для ликвидации или замедления коррозии арматуры в сланцезольном бетоне можно рекомендовать:

1) выбор рациональной конструкции деталей, что достигается путем применения в зоне нахождения арматуры бетона с меньшей коррозионной активностью;

2) уменьшение коррозионной актив-

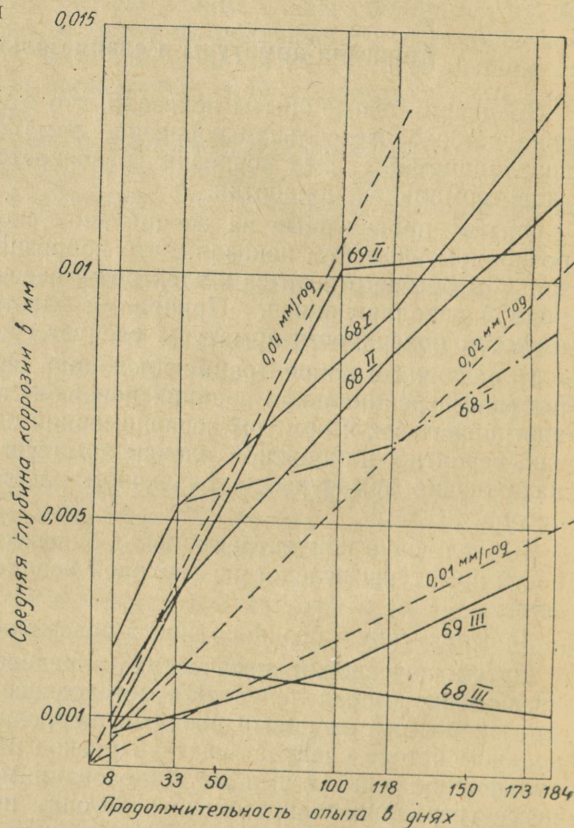


Рис. 4. Зависимость скорости развития коррозии арматуры в сланцезольном бетоне от времени ($B/C = 0,56$, $OK = 0-2$ см). Вяжущие: 68 I — молотая пылевидная зола; 68 II — молотая пылевидная зола + 0,2% NaNO_2 ; 69 III — молотая пылевидная зола + 2% NaNO_2 ; 68 III — молотая пылевидная зола + 50% портландцемента.

— выдерживание образцов в нормальных условиях;
 ····· выдерживание образцов в переменных условиях (1 неделя в воде, 1 неделя на воздухе);
 - - - - - расчетные данные

ности всей бетонной массы путем применения портландцемента (не менее 25% от веса золы).

Этим одновременно сокращается продолжительность гидротермальной обработки и уменьшаются упруго-пластические деформации.

Заключение

Результаты наших лабораторных исследований проверялись на практике путем изготовления сланцезольных бетонных и железобетонных деталей в заводских условиях (цех железобетонных деталей завода силикатного кирпича «Силикат» в г. Таллине) и применения их на различных опытных объектах.

В результате проведенных работ по внедрению результатов наших исследований (1952—1954 гг.) можно прийти к следующим практическим выводам.

1. Пылевидная зола прибалтийского горючего сланца пригодна для изготовления бесцементных бетонных деталей с маркой до «200» и морозостойкостью >25 циклов. При этом нет необходимости применять кислые добавки и гасить золу; но твердение деталей должно проходить в условиях гидротермальной обработки (применение пластичных смесей).

2. Пылевидная зола пригодна для изготовления железобетонных деталей (с пролетом до 6 м) в случае применения добавки портландцемента.

3. Применение пылевидной золы для изготовления бетонных и железобетонных строительных деталей является рациональным способом утилизации золы по следующим причинам:

- а) при изготовлении деталей используются наиболее эффективно присущие золе вяжущие свойства;
- б) достигается большая экономия портландцемента;
- в) ликвидируются на промышленных предприятиях расходы на золоудаление;
- г) достигается снижение стоимости бетонных и железобетонных деталей в размере от 6 до 12%.

*Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР*

СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЙ ПЕНОБЕТОН *

Ф. П. КИВИСЕЛЫГ

Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы, а особенно постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей для строительства», поставили перед строителями огромные задачи. Производство и применение сборных железобетонных конструкций и деталей с 1,80 млн. куб. м в 1954 году должно увеличиться к 1957 году до 9,79 млн. куб. м, т. е. в пять раз за три года.

Для выполнения такой небывалой программы необходимо широкое применение новых эффективных и более дешевых строительных материалов.

Одним из эффективных материалов, позволяющих изготавливать легкие крупные стеновые блоки и панели с лучшими теплотехническими показателями, является пенобетон. Пенобетон хорошо изучен советскими учеными в течение последних двадцати лет, однако его применение не получило еще должного размаха прежде всего из-за сравнительно большого расхода вяжущего (портландцемента).

Исследования Института строительства и строительных материалов Академии наук Эстонской ССР показали, что обычные растворы и бетоны, изготовленные на базе сланцезольных вяжущих, обладают значительной прочностью, особенно после гидротермической обработки. Это обстоятельство позволило поднять вопрос об использовании сланцезольных вяжущих для изготовления бесцементного пенобетона. Соответствующие опыты были начаты в 1953 году, а к настоящему времени уже получены положительные результаты, позволившие организовать на заводе «Силикат» производство перегородочных плит и крупных стеновых блоков из пропаренного сланцезольного пенобетона. Проектируются и строятся новые цехи по производству сланцезольного пенобетона также и другими таллинскими организациями.

* Выполнение данной работы стало возможным после проведения ряда предварительных исследований, в результате которых были установлены основные технологические приемы. По инициативе Р. П. Рейзмана в 1953 году Ю. Я. Рубелем под руководством О. А. Маддисона были осуществлены исследования по изготовлению сланцезольных легких бетонов; одновременно Р. П. Рейзманом совместно с Ф. Э. Арэ, В. В. Осиповой, Э. Г. Оямаа и Л. Я. Томберг была сооружена и освоена в работе полигонная установка для изготовления пенокукермитовых изделий.

1. Особенности технологии производства сланцезольного пенобетона

Технология производства сланцезольного пенобетона принципиально не отличается от производства портландцементного пенобетона на клееканифольном пенообразователе, которая хорошо описана в трудах И. Т. Кудряшева и других^(1, 2). Некоторые же отличия обусловлены спецификой сланцезольных вяжущих.

Для изготовления сланцезольного пенобетона были использованы два вида сланцезольных вяжущих: размолотая зола слоевого сжигания горючего сланца — обыкновенный кукермит и размолотая зола пылевидного сжигания горючего сланца в шахтномельничных топках — гидравлический кукермит.

Учитывая, что сланцезольные вяжущие, получаемые из промышленных отходов, являются дешевыми материалами, сланцезольный пенобетон изготовлялся без мелких инертных добавок.

Для получения необходимой консистенции пенобетонной массы сланцезольные вяжущие требуют больше воды при затворении, чем портландцемент. Если обычное водовязущее отношение в пенобетоне при применении портландцемента в зависимости от объемного веса и тонкости песка принимается от 0,35 до 0,60⁽¹⁾, то при применении сланцезольных вяжущих водовязущее отношение принимается от 0,4 до 0,75, в зависимости от требуемого объемного веса пенокукермита и вида вяжущего. Увеличение водовязущего отношения необходимо из-за большей пористости зерен сланцезольных вяжущих и расходования некоторого количества воды на гидратацию имеющейся в сланцезольных вяжущих свободной извести.

Для получения качественной продукции портландцементная пенобетонная масса выдерживается до пропаривания в течение 12 часов. В это время портландцемент схватывается, и пенобетон к началу пропаривания имеет уже определенную неизменяемую структуру. Производство пеносиликата имеет иной характер. Тонкомолотая известь — кипелка в пеносиликатной массе быстро гасится. Это уменьшает водовязущее отношение и переводит массу из жидкого состояния в неподвижное пластическое состояние, что предотвращает осадку ячеистой массы⁽²⁾. Поэтому предварительное выдерживание пеносиликата становится излишним.

Ввиду того, что сланцезольные вяжущие содержат значительное количество свободной извести в негашеном тонкодисперсном состоянии (обычно от 5 до 20% по весу), а кроме того и некоторое количество клинкерных минералов, которые, однако, медленно схватываются (до 48 часов), то процесс схватывания сланцезольных вяжущих в процессе изготовления пенобетона следует считать комбинированным, причем преобладающим, в смысле технологии, является влияние свободной извести. Поэтому в настоящее время при производстве сланцезольного пенобетона

специальное выдерживание форм не производится. Фактически выдерживание форм до пропаривания обуславливается только потребностями организационного характера и длится не более 2—4 часов. За это время находящаяся в сланцезольных вяжущих свободная известь гасится, и пенобетонная масса становится более густой.

Исследования показали, что сланцезольный пенобетон на кле-канифольном пенообразователе при объемных весах выше

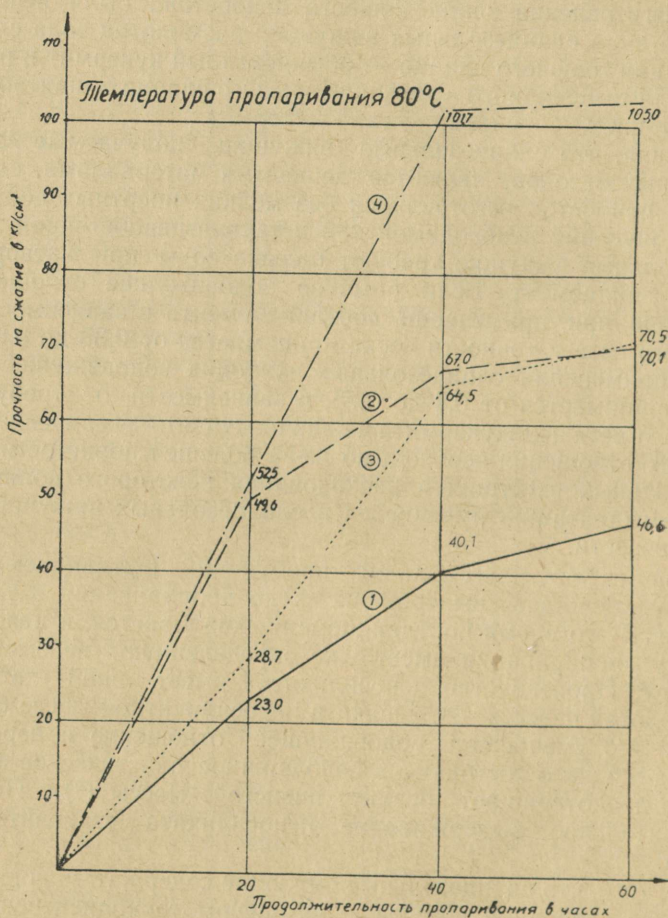


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие сланцезольного пенобетона от продолжительности пропаривания. 1 — пенобетон из обыкновенного кукурмита непосредственно после пропаривания; 2 — то же, в высушенном до постоянного веса состоянии (объемный вес 0,97 т/м³); 3 — пенобетон из гидравлического кукурмита непосредственно после пропаривания; 4 — то же, в высушенном до постоянного веса состоянии (объемный вес 0,87 т/м³).

800 кг/м³ при пропаривании несколько увеличивается в объеме—вспучивается. При этом верхняя часть изделий часто имеет рыхлую слоистую структуру. Самым простым приемом устранения этого недостатка оказалось закрывание форм плотной, слабо нагруженной крышкой.

Продолжительность пропаривания портландцементного пенобетона обычно 16—20 часов. Исследования Института строительства и строительных материалов показали, что нарастание прочности сланцезольного пенобетона при пропаривании происходит значительно медленнее. На рис. 1 приводятся кривые нарастания прочности сланцезольных пенобетонов при пропаривании их при температуре 80°С. Из рисунка видно, что интенсивный рост прочности продолжается примерно до 40 часов. Поэтому пропаривание сланцезольного пенобетона следует проводить в течение 40 часов.

Таким образом, основными особенностями при производстве сланцезольного пенобетона по сравнению с производством портландцементного пенобетона являются:

- 1) применение сравнительно высоких водовяжущих отношений при приготовлении пенобетонной массы;
- 2) необходимость закрывания заполненных пенобетонной массой форм плотной, слабо нагруженной крышкой;
- 3) отсутствие необходимости выдерживания залитых форм до пропаривания;
- 4) более длительное пропаривание сланцезольного пенобетона (до 40 часов при 80°С).

2. Основные технические свойства сланцезольного пенобетона

Нами исследован в основном конструктивный сланцезольный пенобетон с объемным весом в высушенном до постоянного веса состоянии от 600 до 1000 кг/м³.

Предел прочности на сжатие сланцезольного пенобетона определялся на образцах размером 10×10×10 см после пропаривания и в высушенном до постоянного веса состоянии.

Пенобетон из обыкновенного кукуермита в высушенном до постоянного веса состоянии имеет предел прочности на сжатие от 8 до 15 кг/см² при объемном весе около 600 кг/см³ и от 40 до 90 кг/см² при объемном весе от 900 до 1000 кг/м³.

Пенобетон из гидравлического кукуермита в высушенном до постоянного веса состоянии при объемном весе около 600 кг/м³ имеет прочность на сжатие в пределах от 25 до 40 кг/см² и при объемном весе 900—1000 кг/м³ — в пределах от 80 до 140 кг/см² (рис. 2).

Прочность пенобетона из обыкновенного кукуермита при хранении в сухом воздухе возрастает, а в воде почти не изменяется. Прочность же пенобетона из гидравлического кукуермита увеличивается при хранении его в воздухе нормальной влажности, а также и в воде (табл. 1). Необходимо отметить, что в сланце-

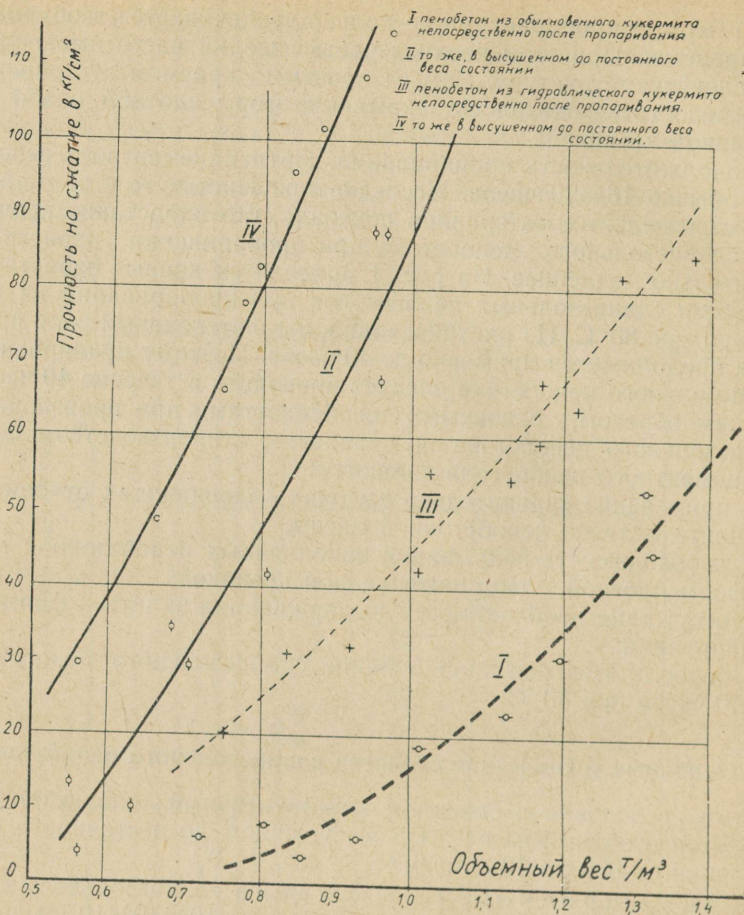


рис. 2. Прочность на сжатие сланцезольного пенобетона в зависимости от объемного веса.

зольном пенобетоне не наблюдается снижения прочности при длительном хранении образцов в воздушносухих условиях. До сего времени имеются шестимесячные наблюдения.

Количество влаги, которое содержится в сланцезольном пенобетоне непосредственно после пропаривания, составляет от 40 до 50% (по весу); при хранении изделий в сухих условиях она быстро испаряется. На рис. 3 приводится кривая высухания пенобетонных образцов из обыкновенного кукурмита размером $10 \times 10 \times 10$ см, с объемным весом пенобетона в высушенном состоянии 915 кг/м^3 (при хранении их на воздухе с относительной влажностью около 60% при температуре от 15 до 18°).

Рост прочности самцезольного пенобетона на сжатие при различных условиях хранения
(время пропаривания 40 часов при 80°C)

Вид вяжущего	Непосредственно после пропаривания		В высушенном до постоянного веса состоянии		При хранении в комнатном воздухе		В насыщенном водой состоянии	
	объемный вес Т/м ³	прочность кг/см ²	объемный вес Т/м ³	прочность кг/см ²	объемный вес Т/м ³	прочность кг/см ²	объемный вес Т/м ³	прочность кг/см ²
Кукермит обыкновенный	1,290	28,5	0,883	49,7	1,047*	48,7*	1,377****	31,1****
Кукермит гидравлический	1,374	82,8	0,967	115,7	1,14**	118,0**;	1,490**	134,0**
"	1,569	133,5	1,182	198,8	1,365**	189,0**	1,700**	215,0**

* В течение 28 дней.

** " " 62 "

*** " " 6 месяцев.

**** " " 21 дня.

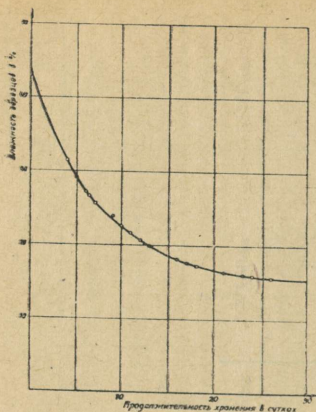


Рис. 3. Высыхание сланцезольного пенобетона $M_{\text{сух}} = 915 \text{ кг/м}^3$ из обыкновенного кукуर्मита. Образцы $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$. Условия хранения: относительная влажность воздуха около 60%; температура от 15 до 18°C.

Из рис. 3 видно, что влажность образцов (по весу) в течение 10 дней уменьшается с 43 до 23%, а в течение 25 дней почти достигает равновесного состояния (в данных условиях 16%).

Большое уменьшение влажности при высыхании сопровождается значительной усадкой сланцезольного пенобетона, в основном ввиду того, что при отдаче воды происходит сокращение объема геля вяжущего. Большой усадке способствуют отсутствие наполнителя и большое водовязущее отношение. Соответствующие измерения показали, что усадка сланцезольного пенобетона после пропаривания, при высыхании на воздухе с относительной влажностью около 60% до равновесного состояния, составляет от 0,3 до 0,5% (от 3 до 5 мм/м). Необходимо отметить, что пенобетон из портландцементного теста при таком же объемном весе имел усадку только около 1 мм/м.

Если мы имеем дело с крупноразмерными блоками, большая усадка может вызывать усадочные трещины. Это случается тогда когда изделия после пропаривания слишком быстро высыхают (например, на солнцепеке, на ветру и т. д.). В таком случае наружная поверхность изделия высыхает быстрее, чем внутренняя часть изделия, и вследствие этого получают усадочные трещины. Институт в ближайшем будущем займется вопросом уменьшения усадки сланцезольного пенобетона.

По предварительным опытам запаривания сланцезольного пенобетона нужно отметить, что влажность изделий при выходе их из автоклава значительно ниже (около 25—30% по весу) вследствие того, что при спуске давления из изделий испаряется значительная часть влаги.

Морозостойкость сланцезольного пенобетона была определена на образцах $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ при температуре -20° . Образцы из обыкновенного кукуर्मита после 15 циклов замораживания обнаружили крошение наружных поверхностей и углов, однако прочность образцов не уменьшилась по сравнению с контрольными образцами. После 25 циклов крошение увеличилось, а прочность уменьшалась. Образцы из гидравлического кукуर्मита после 15 и 25 циклов замораживания обнаружили лишь незначительное крошение, а уменьшение прочности по сравнению с контрольными образцами можно было заметить только после 25 циклов замораживания. Результаты испытаний приводятся в таблице 2.

Показатели морозостойкости сланцезольного пенобетона

Вид вяжущего	Объемный вес в высушенном состоянии кг/м ³	Прочность на сжатие в высушенном состоянии кг/см ²	После 15 циклов замораживания				После 25 циклов заморажив.			
			прочность на сжатие кг/см ²	прочность на сжатие контрольных образцов кг/см ²	% крошения	коэффициент морозостойкости	прочность на сжатие кг/см ²	прочность на сжатие контрольных образцов кг/см ²	% крошения	коэффициент морозостойкости
Кукермит обыкновенный	883	49,7	38,4	38,5	2,5	1,0	38,4	40,1	3,20	0,96
Кукермит гидравлический	967	115,7	120,0	115,0	0,05	1,04	117,0	134,0	0,80	0,88
„	1182	198,8	—	—	—	—	182,0	215,0	0,26	0,85

Примечание. Контрольные образцы хранились в воде и испытывались одновременно с образцами, которые подвергались замораживанию.

Таким образом, лабораторное исследование показало, что сланцезольный пенобетон имеет основные технические показатели, позволяющие рекомендовать его к применению для изготовления различных неармированных деталей, как, например, стеновых блоков, перегородочных плит, вкладышей для стен, перекрытий и т. д. В настоящее время в Институте строительства и строительных материалов АН ЭССР продолжаются исследования пропаренного сланцезольного пенобетона по определению его прочности на растяжение и на изгиб, модулей упругости, ползучести, теплопроводности, влажностных свойств и т. д.

3. Опыт производства строительных деталей из сланцезольного пенобетона

На основании лабораторных опытов в 1953 году на заводе «Силикат» было организовано опытное производство крупных стеновых блоков из сланцезольного пенобетона размерами 124×118×35 см, с объемным весом около 900 кг/м³. Блоки были снаружи офактурены обычным бетоном марки «140»; толщина фактурного слоя — около 5 см. Блоки изготавливались в деревянных формах на открытом стенде. Качество блоков было удовлетворительным, а прочность на сжатие контрольных образцов в общем соответствовала лабораторным данным.

Весной 1954 года, после уточнения технологии производства сланцезольного пенобетона в лабораторных условиях, в бетонном цехе завода «Силикат» было организовано регулярное производство сланцезольно-пенобетонных перегородочных плит размером $80 \times 40 \times 10$ см, а также крупных стеновых блоков и карнизных блоков длиной до 342 см и высотой 85 см для опытного объекта — одноэтажного помещения склада. Для покрытия опытного здания были изготовлены своды-оболочки двойкой кривизны, размером $2,48 \times 3,73$ м, несущая часть которых была изготовлена из обычного бетона, а верхняя, теплоизоляционная часть — из сланцезольного пенобетона толщиной в среднем 15 см и объемным весом около 600 кг/м^3 (в высушенном состоянии). Ввиду того, что производство гидравлического кукермита еще не налажено, для изготовления пенобетонных деталей был применен обыкновенный кукермит.

На заводе «Силикат» не было возможности складировать свежизготовленные блоки под навесом; они хранились незащищенными от атмосферных воздействий (солнце, ветер, дождь) и ничем не покрывались. Поэтому уже в течение нескольких недель после их изготовления можно было наблюдать появление на блоках усадочных трещин, количество и ширина которых постепенно увеличивались. После того как свежизготовленные блоки стали покрывать увлажненными цементными мешками, усадочные трещины не появлялись. Из этого следует, что для предупреждения неравномерности высыхания крупных блоков из сланцезольного пенобетона после их изготовления необходима либо равномерная искусственная сушка их до влажности 20—25% (по весу), либо тщательный уход за ними при хранении, пока их влажность уменьшится до вышеуказанной.

Опытное здание было выстроено на территории завода «Силикат» в июле 1954 года, причем использовались блоки как производства 1954, так и 1953 года. Необходимо отметить, что блоки из гидравлического кукермита, изготовленные в 1953 году, после зимования на открытом складе под действием атмосферных влияний, кроме усадочных трещин, не имели существенных повреждений (за исключением трех из 45 блоков) и были использованы для строительства опытного здания.

В сентябре 1954 года на заводе «Силикат» была изготовлена первая стеновая панель размером $3,05 \times 3,63 \times 0,35$ м из сланцезольного пенобетона, офактуренная с наружной стороны слоем тяжелого бетона толщиной 5 см.

В середине панели имелся оконный проем с железобетонной оконной коробкой, размером $1,38 \times 1,53$ м. В качестве вяжущего был применен обыкновенный кукермит марки «50». Панель получилась вполне удовлетворительного качества. Контрольные образцы пенобетона после изготовления имели прочность на сжатие $80,2 \text{ кг/см}^2$, а после высушивания при объемном весе 1010 кг/м^3 — $95,2 \text{ кг/см}^2$. На основании лабораторных и производственных

опытов Институтом разработаны временные технические указания по производству сланцезольного пенобетона методом пропаривания и временные технические условия на перегородочные плиты и стеновые крупные блоки из сланцезольного пенобетона.

Исходя из положительного опыта изготовления крупных стеновых блоков и перегородочных плит из сланцезольного пенобетона, Совет Министров Эстонской ССР обязал Министерство промышленности строительных материалов ЭССР организовать регулярное производство пенокукермитовых перегородочных плит, а также изготовление крупных пенокукермитовых блоков для опытного коровника на 104 головы для Министерства совхозов ЭССР. Это распоряжение выполняется в настоящее время, и перегородочные плиты уже применяются на стройках Таллинского строительного треста. Начат также монтаж крупноблочного коровника.

На таллинском заводе «Кукермит» и на строительной базе Таллинского строительного треста строятся цехи для производства изделий из сланцезольного пенобетона. Такие же цехи проектируются и на других предприятиях Таллина и в других городах республики.

В ноябре 1954 года вышло постановление Совета Министров ЭССР «О развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей для строительства перегородочных плит и изделий из сланцезольного вяжущего». Этим постановлением все строительные организации республики, имеющие установки для производства железобетонных изделий с пропаркой, обязуются организовать производство пенокукермитовых перегородочных плит и обеспечить повсеместное их применение. Академия наук ЭССР, Министерство промышленности строительных материалов ЭССР и Министерство городского и сельского строительства ЭССР должны разработать предложения по производству пенокукермитовых стеновых крупных блоков. Таким образом, открыты все пути для скорейшего использования сланцезольного пенобетона в строительстве.

В заключение необходимо указать на одну причину, которая мешает нормальному развитию производства сланцезольного пенобетона. Те, кому пришлось бывать на складе крупных пенобетонных блоков завода «Силикат», а также на строительной площадке опытного коровника в совхозе им. А. Соммерлинга, могли констатировать, что некоторые крупные блоки сланцезольного пенобетона, изготовленные из обыкновенного кукермита, под действием атмосферных влияний (слабые морозы, дождь) крошатся, некоторые же имеют сильные трещины и даже раскалываются на большие куски. Причины таких явлений в основном следующие:

1. Температура парового пространства над пропариваемыми на стенде изделиями из-за неплотности закрывающейся коробки слишком низка, вследствие чего пропаренный пенобетон не име-

ет достаточной прочности и под действием воды и мороза крошится.

2. Имеющаяся на заводе «Силикат» пенобетономешалка (объем 150 л) слишком мала, вследствие чего крупные блоки приходится заливать в несколько приемов. Залитая в форму пенокукермитовая масса быстро загустевает и поэтому пенобетонная масса следующего замеса не может быть перемешана с предыдущей. Это приводит к образованию слоистой структуры блока. На поверхность пенобетона всплывают пузырьки пены, и между пенобетоном двух замесов образуется слабый прослоек. Кроме того, такой блок может иметь внутренние напряжения вследствие неодинаковых свойств по слоям. Образование трещин по таким прослойкам отмечалось неоднократно.

3. Качество обыкновенного кукермита не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к производству качественного пенобетона (содержание большого количества органических веществ, крупный помол и т. д.). Такое вяжущее дает пенобетоны с заниженной прочностью и морозостойкостью.

Выводы

1. Проведенные в Институте строительства и строительных материалов АН ЭССР лабораторные исследования сланцезольного пенобетона и промышленное производство пенокукермитовых строительных деталей на заводе «Силикат» доказали возможность изготовления таких из сланцезольного пенобетона без применения портландцемента.

2. Показатели прочности на сжатие сланцезольного пенобетона достаточны, чтобы использовать его для изготовления строительных деталей при строительстве малоэтажных жилых, гражданских, сельскохозяйственных и промышленных зданий.

3. Лабораторные исследования показали, что сланцезольный пенобетон из гидравлического кукермита имеет достаточную морозостойкость для применения его в качестве стенового материала.

4. Одним из недостатков сланцезольного пенобетона является большая усадка, вызванная высыханием содержащегося в нем после пропаривания значительного количества воды. При неравномерном высыхании крупноразмерных изделий из-за большой усадки могут образоваться усадочные трещины. Для предотвращения развития усадочных трещин необходима равномерная естественная или искусственная сушка или добавка мелких инертных заполнителей.

Автоклавная обработка пенокукермита дает возможность получить изделия с меньшей усадкой и влажностью.

5. На основании лабораторных и промышленных опытов можно сделать вывод, что пенобетон из обыкновенного кукермита можно использовать для изготовления перегородочных плит, вкладышей

для стен и перекрытий и тому подобных малоответственных и несущих строительных деталей.

Пенобетон из гидравлического кукуермита имеет значительно более высокие показатели по прочности и морозостойкости и его можно использовать для изготовления крупных стеновых блоков.

6. Промышленное производство крупных пенокукуермитовых изделий позволило обнаружить некоторые недостатки в технологии их производства. Эти недостатки необходимо устранить при организации производства пенокукуермитовых изделий в 1955 году.

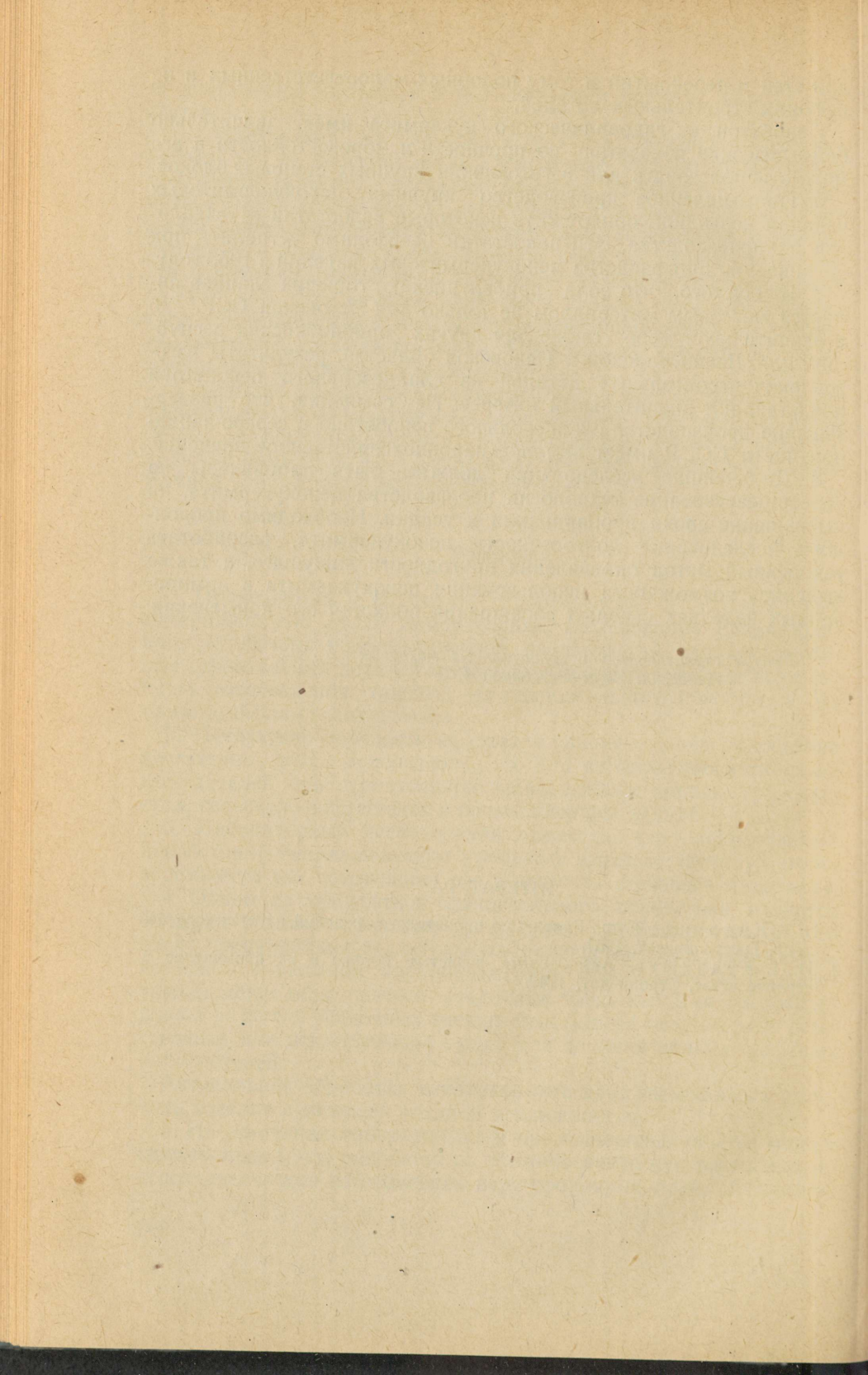
7. Ввиду того, что зола прибалтийских горючих сланцев является массовым материалом не только для Эстонской ССР, но в значительной мере также для других прибалтийских республик, для Ленинградской и Псковской областей, результаты изготовления строительных деталей из сланцезольного пенобетона представляют значительный интерес. Нет сомнения, что развертывание производства сланцезольного пенобетона в северо-западной части СССР имеет немалое народнохозяйственное значение.

8. Дальнейшие исследования должны быть направлены на усовершенствование технологии производства пенокукуермита, на уменьшение срока пропаривания и усадки. Необходимо продолжить исследование долговечности пенокукуермита, разработать ускоренный метод определения пригодности вяжущего, а также выявить возможности использования пенокукуермита в армированных изделиях с целью расширения областей его применения.

*Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР*

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Т. Кудряшев и др., Заводы по производству изделий из ячеистого бетона, Госстройиздат, 1951.
2. И. Т. Кудряшев, Автоклавные ячеистые бетоны и их применение в строительстве, Стройиздат, 1949.



О ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Э. Г. ОЯМАА

Изучение долговечности строительных материалов имеет большое значение, так как в практике они чаще разрушаются не от силовых воздействий, а вследствие недостаточной долговечности.

Для сланцезольных строительных материалов изучение долговечности имеет особое значение, так как в отношении их еще не имеется долголетнего опыта применения.

Для обеспечения долговечности к сланцезольным, как и другим строительным материалам, в первую очередь предъявляются требования в отношении водостойкости, морозостойкости, воздухоустойкости, химической или коррозионной стойкости, огнестойкости и т. д.

Основные показатели стойкости сланцезольных вяжущих материалов изучались в Институте строительства и строительных материалов АН ЭССР уже в течение ряда лет параллельно с другими свойствами этих вяжущих.

Рассмотрим в первую очередь вопрос водостойкости. Обыкновенный и гидравлический кукермиты в случае твердения в нормальных условиях не являются водостойкими вяжущими, так как для достижения водостойкости растворов и бетонов, приготовленных на этих вяжущих, требуется весьма продолжительное твердение их во влажном воздухе. Путем введения активных минеральных добавок водостойкость этих вяжущих может быть повышена до уровня водостойкости романцементов, т. е. обеспечивается равномерность изменения объема и нарастания прочности в воде после предварительного 7-дневного твердения во влажном воздухе (табл. 1).

Временные технические указания по применению сланцезольных вяжущих требуют в случае погружения в воду бетонов и растворов на улучшенном гидравлическом кукермите их предварительного твердения во влажном воздухе в течение 10 суток. После этого они способны твердеть также и в воде, и их прочность к 28-дневному сроку мало отличается от прочности образцов, которые в течение всего этого времени твердели во влажном воздухе.

Пропаривание придает водостойкость бетонам, приготовленным на сланцезольных вяжущих; прочность погруженных в воду образцов со временем увеличивается. В таблице 2 приводятся

Прочность сланцезольного раствора в зависимости от

Виды золы	Состав вяжущего в %				Режим твердения образцов
	зола	трепел	диатомит	глинит	
Пылевидная «S», немолотая	100	—	—	—	Во влажном воздухе
Пылевидная «S», молотая	100	—	—	—	В комнатном воздухе
Пылевидная «R», молотая	100	—	—	—	Во влажном воздухе
Пылевидная «K ₇ », молотая	100	—	—	—	В комнатном воздухе
„ „	80	20	—	—	28 дней во влажном воздухе, затем в воде
„ „	80	—	20	—	Во влажном воздухе
„ „	70	—	—	30	В комнатном воздухе
„ „	70	—	—	30	7 дней во влажном воздухе, затем в воде
Решеточная «30-1», молотая	100	—	—	—	Во влажном воздухе

* Образцы размером 7×7×7 см из жесткого раствора 1:3.

** Срок твердения 1,5 года.

*** Срок твердения 2 года.

прочности бетонных образцов после пропаривания и прочности контрольных образцов, которые после пропаривания хранились в воде. Сравнение прочности этих образцов показывает, что прочность вторых за время пребывания в воде заметно возросла даже для пенобетона, приготовленного из обыкновенного кукуермита.

По сравнению с портландцементом сленцезольные вяжущие имеют более низкую морозостойкость, что, очевидно, обусловлено в первую очередь меньшей плотностью затвердевшего теста сланцезольного вяжущего, а для бетона нормального твердения также низкой начальной прочностью. Как видно из таблицы 2,

днения в различных условиях * (по данным Х. Я. Мяндетса)

Предел прочности на сжатие в кг/см² после твердения в течение

7 дней	28 дней	56 дней	3 мес.	6 мес.	1 года	3 лет
9,5	48,3	78,1	88,3	104,6	134,0	—
34,0	44,3	45,3	51,0	53,1	84,0	85,0
56,0	217,4	242,1	293,9	330,0	424,2	436,0
65,6	74,3	86,6	110,9	128,0	147,4	—
54,0	151,8	212,0	284,0	311,9	325,5**	376,0
77,0	134,0	—	163,0	—	173,3	—
54,0	151,8	—	—	—	348,0	—
23,0	90,0	118,0	—	196,0	243,0	—
44,0	81,0	93,0	—	148,0	139,0	—
23,0	90,0	74,0	—	211,0	262,0	—
145,0	229,0	306,0	—	373,0	—	—
—	241,0	276,0	—	—	—	—
145,0	227,0	251,0	—	—	—	—
62,0	176,0	207,0	—	238,0	228,0	—
72,0	150,0	162,0	—	214,0	198,0	—
62,0	143,0	192,0	—	252,0	277,0	—
155,0	228,0	290,0	—	320,0	—	—
124,0	192,0	232,0	—	280,0	240,0	—
155,0	206,0	207,0	—	250,0	302,0	—
83,0	161,0	167,0	—	230,0	235,0	—
85,0	183,0	177,0	—	203,0	207,0	—
83,0	103,0	122,0	—	249,0	258,0	—
12,1	43,3	70,0	104,7	121,3	124,7	134,0***
25,3	41,0	48,6	—	83,3	78,5	77,0***

разрушились

бетон нормального твердения на улучшенном гидравлическом кукуермите имеет 28-дневную прочность около 80 кг/см². Если его в этом возрасте подвергнуть испытанию на морозостойкость, то он не выдерживает даже 15 циклов замораживания. Нарастание прочности такого бетона продолжается, и если его испытать примерно в двухмесячном возрасте или позднее, то он уже выдерживает 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Такая морозостойкость, а также и прочность в ряде случаев могут оказаться недостаточными; для улучшения этих свойств в сланце-зольные растворы и бетоны следует вводить добавку портланд-цемента в количестве 25—50% от общего веса вяжущего.

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ ПЕНОБЕТОННОГО БЕТОНА

А. Обычный бетон нормального твердения

Состав вяжущего в %		Состав бетона (по весу)	Водовяжущее отношение	Прочность бетона в кг/см ² при возрасте в днях			Возраст бетона в днях к началу испытания на морозостойкость	Прочность в кг/см ²	Потери в весе в %	Прочность контрольных образцов в кг/см ²	Коэффициент морозостойкости
улучшенный гидравлический кукермит	портланд-цемент			28	56	90					
				100	0	1:2,1:4,2		0,65	77		
100	0	1:2,1:4,2	0,65	80	"		42	74	6,6	95	0,78
100	0	1:2:4	0,65	82	112	117	52	105	не опред.	не опред.	не опред.
100	0	1:2:4	0,65	82	112	117	70	132	0,2	"	"
75	25	1:2,1:4,2	0,65	99	116	133	50	130	0,3	"	"
50	50	1:2,1:4,2	0,65	115	148	165	44	184	не опред.	"	"
50	50	1:2,1:4,2	0,65	115	148	165	65	200	0,2	"	"

Б. Пропаренный бетон (при 80° в течение 40 часов)

Вид вяжущего	Вид бетона	Состав бетона (по весу)	Водовяжущее отношение	Прочность бетона после пропаривания в кг/см ²	Количество циклов замораживания	Прочность бетона в кг/см ²	Потери в весе в %	Прочность контрольных образцов в кг/см ²	Коэффициент морозостойкости	Кем получены данные
Гидравлический кукермит	Обычный бетон*	1:1,5:3,0	0,60	99**	25	132	3,08	135	0,98	Корровиц Х. Х.
						177	2,63	184	1,0	
" "	" "	1:1,5:3,1	0,56	192	25	185	1,9	239	0,99	"
					35	236	1,9	260	0,84	
Гидравлический кукермит 50% + портланд-цемент 50%	" "	1:1,9:3,8	0,55	262	60	340	0,4	353	0,96	"
Кукермит обыкновенный 50% + портланд-цемент 50%	" "	1:2,3:4,7	0,51	138	25	194	0,1	156	>1,0	Автор
" "	" "	1:2,4:4,7**	0,60	112	25	197	0,5	193	~1,0	"
Немолотая пылевидная зола	Пенобетон-0,84 т/м ³ ***	1:0	~0,55	не опред.	15	42,4	0	48,0	0,88	"
Гидравлический кукермит	Пенобетон-0,86 т/м ³ ****	1:0	~0,51	не опред.	15	62,3	0,3	44,0	>1,0	" "
" "	Пенобетон-0,97 т/м ³	1:0	0,55	82,8	15	120,0	0,05	115,0	~1,0	
" "	Пенобетон-1,18 т/м ³	1:0	0,50	133,5	25	117,0	0,8	134,0	0,88	" "
Кукермит обыкновенный	Пенобетон-0,90 т/м ³ ***	1:0	~0,60	не опред.	25	182,0	0,26	215,0	0,85	
" "	Пенобетон-0,88 т/м ³	1:0	0,61	28,5	15	35,0	4,4	44,0	0,80	" "
" "	Пенобетон-0,83 т/м ³ ***	1:0	~0,60	не опред.	15	38,4	2,5	38,5	1,0	
" "	"	"	"	"	25	38,4	3,2	40,1	0,96	"
" "	"	"	"	"	15	32,0	2,5	30,5	~1,0	Автор

* Щебень в обычном бетоне известняковый.

** Пропаривание в течение 16—20 часов.

*** Образцы выпилены из крупных стеновых блоков.

**** Образцы выпилены из перегородочной плиты.

В случае пропаривания морозостойкость сланцезольных бетонов значительно повышается (таблица 2, Б). Морозостойкость пропаренного бетона на гидравлическом кукуермите (т. е. на молотой пылевидной золе) без каких-либо добавок составляет более 50 циклов. Более высокие требования в отношении морозостойкости редко встречаются в гражданском и промышленном строительстве. Например, для бетона бордюрного камня, который находится в довольно суровых условиях службы, по ГОСТ требуется морозостойкость 50 циклов.

Пенобетон на гидравлическом кукуермите выдерживает 15—25 циклов замораживания, в то время как от стеновых материалов, в частности от кирпича, требуется морозостойкость 15 циклов.

Повышение водо- и морозостойкости сланцезольных вяжущих при пропаривании обусловлено тем, что по сравнению с нормальным твердением, когда частицы свободной извести в золе гасятся медленно, при гидравлической обработке эти частицы гасятся значительно быстрее и полнее, не вызывая внутренних напряжений в изделиях. Кроме того, свободная известь связывается в процессе пропаривания, благодаря чему достигается более высокая прочность, и можно полагать, что большая часть гелеобразных масс переходит в кристаллическое состояние.

По изучению химической или коррозионной стойкости сланцезольных вяжущих проводились лабораторные исследования инженером-химиком Р. Отть в Таллинском политехническом институте и научным сотрудником Х. Я. Мяндрметсом в Институте строительства и строительных материалов АН ЭССР. Для оценки результатов исследования коррозии сланцезольных вяжущих,

Состав вяжущего в %		Водовяжущее отношение	Начальная прочность бетона* в кг/см ²	Стойкость сланцезольного			
Молотая пылевидная зола с добавкой 20% трепела (улучшенный гидравлический кукуермит)	Портланд-цемент			Прочность на сжатие			
				при нормальном хранении		в неагрессивной грунтовой воде	
			кг/см ²	%	кг/см ²	%	
100	0	0,61	~ 90	220	100	213	97
75	25	0,58	~ 140	270	100	268	99
50	50	0,56	~ 200	354	100	289	82
0	100	0,50	~ 310	375	100	370	99

* Состав бетона 1 : 1,7 : 2,8 (вяжущее: песок: гранитный щебень) по весу.

** Размер образцов-кубиков 7×7×7 см.

*** Агрессивная грунтовая вода содержала от 33 до 53 мг/л агрессивной CO₂ и имела временную карбонатную жесткость 4,1°.

эти результаты сравнивались с показателями, которые были получены на параллельных определениях с портландцементом.

Эти исследования показали, что сланцезольные вяжущие имеют почти такую же стойкость при выщелачивании дистиллированной водой, как и портландцемент. Стойкость пропаренных сланцезольных вяжущих оказалась даже несколько выше, что, очевидно, обусловлено связыванием свободной извести при пропаривании. Однако при действии растворов, содержащих агрессивную углекислоту, сланцезольные вяжущие оказались менее стойкими.

Растворы сернокислого натрия и магния, а также навозная жижа коровников действовали почти одинаково на портландцемент и на сланцезольные вяжущие.

Кроме того, было проведено изучение стойкости сланцезольного бетона в природных условиях. Для этого образцы, приготовленные при различных соотношениях сланцезольного вяжущего и портландцемента, были после их нормального твердения помещены в грунтовую воду, содержащую агрессивную углекислоту (на ул. Асула в гор. Таллине), в неагрессивную грунтовую воду (в водосточную канаву) и в навозную жижу коровника. Контрольные образцы были оставлены в лаборатории и хранились в воде. Спустя один год, а затем через два года часть образцов была извлечена и испытана, часть же была оставлена для испытания по истечении трех лет. Результаты испытания приведены в таблице 3. Они свидетельствуют о том, что в данных условиях нет существенного расхождения в поведении образцов на сланцезольном вяжущем и на портландцементе. Исключение составляют образцы, изготовленные на сланцезольном вяжущем и пробывшие

Таблица 3

бетона против коррозии

бетонных образцов** в возрасте

года		двух лет							
в навозной жиже коровников		при нормальном хранении		в неагрессивной грунтовой воде		в агрессивной грунтовой воде***		в навозной жиже коровников	
кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%
195	88	235	100	214	91	197	83	154	66
285	106	343	100	266	76	282	82	307	90
284	80	362	100	336	93	317	88	331	92
420	112	466	100	406	87	410	88	395	85

в течение двух лет в навозной жиже коровников. Эти образцы имеют несколько большее относительное снижение прочности по сравнению с портландцементными образцами. Трехгодичные образцы должны показать, является это случайным или закономерным явлением. При введении 25% портландцемента относительная прочность образцов уже не меньше, чем при применении чистого портландцемента. Такая добавка, очевидно, во многих случаях будет нужна для ускорения твердения бетона.

Воздухостойкость изучалась только с точки зрения сохранения прочности сланцезольных вяжущих при длительном нахождении в воздушносухих условиях, т. е. при относительной влажности воздуха в пределах примерно 50—80%. Из данных, приведенных в таблице 1, видно, что при твердении в воздушносухих условиях прочность сланцезольного раствора к сроку 1—2 года в некоторых случаях незначительно снижалась. Практически можно считать, что в этих условиях дальнейшее нарастание прочности образцов прекращается вследствие высыхания.

Ввиду того, что вяжущие, которые содержат активные минеральные добавки, часто имеют пониженную воздухостойкость, следует пока воздерживаться от применения сланцезольных вяжущих с такими добавками в особенно сухих условиях (при относительной влажности воздуха ниже 50—60%).

В части огнестойкости, т. е. стойкости против действия огня и воды при пожаре, специальных исследований не проводилось. Однако нет оснований предполагать, чтобы сланцезольные материалы в этом отношении существенно отличались от портландцементных и силикатных строительных материалов.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что несмотря на то, что вопросы стойкости и долговечности еще окончательно не решены, это не препятствует широкому применению сланцезольных материалов в сельском, жилищном и даже в промышленном строительстве.

Необходимо еще отметить, что сланцезольные вяжущие не представляют собой нечто принципиально новое, а, наоборот (как это было видно из многих докладов на настоящем совещании), состоят из элементов давно известных и применяемых вяжущих, как, например, воздушной и гидравлической извести, известково-пуццолановых вяжущих и клинкерного цемента. Поэтому опасения некоторых скептиков, что может быть со временем в сланцезольных материалах могут произойти какие-либо катастрофические изменения или разрушения, не имеют никакого основания. Это подтверждается также практикой.

В конечном счете, практика является критерием правильности наших выводов, сделанных на основании лабораторных исследований. Поэтому и обратимся теперь к практике.

Первым сланцезольным строительным материалом, который нашел применение в нашей республике в промышленном масштабе, является сланцезольный кирпич автоклавного твердения.

Выпуск этого кирпича был налажен 25 лет тому назад и прекратился во время Великой Отечественной войны, так как завод был разрушен. Несмотря на низкую морозостойкость этого кирпича, многие выстроенные из него здания и в настоящее время находятся в хорошем состоянии. В качестве примера можно привести здания вокзалов Рахумяэ и Хийу на пригородной железнодорожной линии Таллин—Пяэскюла, которые были построены в 1930 году. Этот кирпич в среднем имел марку «100» и выдержал около 7 циклов замораживания. Такая ничтожная морозостойкость была обусловлена тем, что решетчатая сланцевая зола, из которой этот кирпич изготавливается, представляет собой в основном неспекшуюся рыхлую массу, частицы которой имеют ничтожную прочность и размокают в воде. Эти частицы при обработке на бегунах не растрепались полностью в вяжущее. Находясь в кирпиче, они насыщались водой (водопоглощение кирпича в среднем составляло 25,5%) и, замерзая, разрушали кирпич. Таким образом, заполнителем в кирпиче служил неводостойкий и неморозостойкий так называемый «сланцевый шлак», т. е. более крупные частицы, а вяжущим — мелкие и растертые под бегунами частицы золы. Несмотря на малую морозостойкость, этот кирпич оправдал свое применение в таких местах, где он не подвергался замораживанию в насыщенном водой состоянии.

Такой же опыт имеется и с сланцезольными блоками, которые применялись примерно с 1945 по 1951 год в сланцевом районе нашей республики. В этих блоках заполнителем являлась решетчатая сланцевая зола. Вследствие неморозостойкости этого заполнителя блоки в большинстве случаев выдерживали лишь около 10 циклов замораживания, несмотря на то, что они содержали примерно 250 кг/м³ портландцемента. В районе сланцевого бассейна из этих блоков построены сотни жилых домов. Стены этих домов в хорошем состоянии, за исключением тех мест, где крыша неисправна и стена затекает водой, подоконных участков, если они не защищены от просачивания воды, а просто замазаны раствором, и цоколей. В этих случаях происходит медленное крошение и шелушение вследствие недостаточной морозостойкости. В цоколях, конечно, не следовало бы применять материал с такой низкой морозостойкостью.

Во всяком случае этот достаточно продолжительный опыт (в первом случае до 25 лет) показывает, что имеют место только те разрушения, которые неизбежно должны быть при столь малой морозостойкости. Кроме того, из этого следует, что сланцевую золу нельзя применять в качестве заполнителя. Это было известно, конечно, и раньше, но ввиду отсутствия других легких заполнителей пришлось ее все же применять в послевоенные годы.

По сланцезольным вяжущим, которые сейчас рекомендуются к использованию, имеется более короткий опыт применения.

Обыкновенный кукермит выпускается с 1948 года и в основном применяется в кладочных и штукатурных растворах. Сейчас за-

вод «Кукермит» выпускает 40 000 тонн этого вяжущего в год. Зданий, на которых применялись кукермитовые растворы, весьма много, но систематических наблюдений за ними не установлено.

В 1949 году было сделано три опытных участка бетонного пола коровника: первый участок на обыкновенном кукермите с добавкой 10% портландцемента, второй — с добавкой 20% портландцемента и третий, для сравнения, из чистого портландцемента. Сейчас, т. е. после 5 лет эксплуатации, пол находится в удовлетворительном состоянии. Потери прочности сланцезольного бетона от действия навозной жижи не обнаружено.

Как известно, промышленное производство кукермита гидравлического и гидравлического улучшенного еще не налажено. Выпускались только опытные партии этих вяжущих в 1952 и 1953 гг.

Из объектов, на которых применялись эти вяжущие, следует отметить следующие:

1. Строительство коровника в совхозе «Пенинги», где в 1952 году из сланцезольного бетона были устроены пол и кормушки. Бетон приготавливался на одном улучшенном гидравлическом кукермите, а также с добавками 17 и 32% портландцемента. Бетон до настоящего времени находится в хорошем состоянии.

2. Строительство двухэтажного здания Экспериментальной базы Института растениеводства АН ЭССР по ул. Кеэмия, 41/43, в г. Таллине, где были использованы сборные железобетонные детали перекрытий (балки и плиты). Эти детали были изготовлены в цехе железобетонных изделий завода «Силикат», частично на одном улучшенном гидравлическом кукермите и частично с добавкой портландцемента. Всего было изготовлено 220 плит и 30 балок. Здание находится второй год в эксплуатации, и пока никаких дефектов не обнаружено.

Кроме того, в 1952 и 1953 годах на целом ряде строительных объектов применялись для кладки и для наружной и внутренней штукатурки растворы на гидравлическом и улучшенном гидравлическом кукермите. Например, на здании Академии наук ЭССР по бульвару Эстония, 7, на строительстве кинотеатра «Сыпрус» и больницы Калининского района в г. Таллине и т. д.

Самым «молодым» из сланцезольных материалов является сейчас пенобетон. Первые крупные стеновые блоки из сланцезольного пенобетона были сделаны в 1953 году на заводе «Силикат». О стойкости сланцезольного пенобетона дает представление тот факт, что из первых 45 блоков, которые были изготовлены в 1953 году на гидравлическом кукермите и перезимовали под открытым небом, 42 блока были использованы при строительстве опытного здания.

Такой короткий опыт применения сланцезольных вяжущих, конечно, очень мало дает для оценки их долговечности и стойкости, но он во всяком случае не противоречит выводу, который можно было сделать на основании лабораторного изучения.

Для дальнейшего уточнения условий применения сланцезольных материалов и выявления возможностей улучшения их свойств ведутся сейчас исследования с целью повышения водостойкости и морозостойкости сланцезольных вяжущих при нормальном твердении и с целью изучения их воздухоустойкости. Продолжаются исследования стойкости сланцезольных бетонов в природных условиях и организуется систематический контроль за объектами, на строительстве которых применялись сланцезольные материалы.

*Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР*

К ВОПРОСУ ТВЕРДЕНИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Д. Е. ГОРБАЧЕВ

В настоящей работе изложены результаты исследований вяжущего, полученного на основе зол пылевидного сжигания подмосковных и донецких углей с добавками активизаторов: молотой негашеной извести, двуводного гипса и портландцемента.

Зола и двуводный гипс отдельно подвергались мокрому помолу в шаровой мельнице, затем молотая зола смешивалась с молотой известью или цементом с добавкой или без добавки гипса.

Химические свойства исследуемых зол, независимо от вида угля, из которого получена зола (подмосковный или донецкий), определяются расположением состава золы в поле кристаллизации муллита тройной системы $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—Fe}_2\text{O}_3$ (рис. 1).

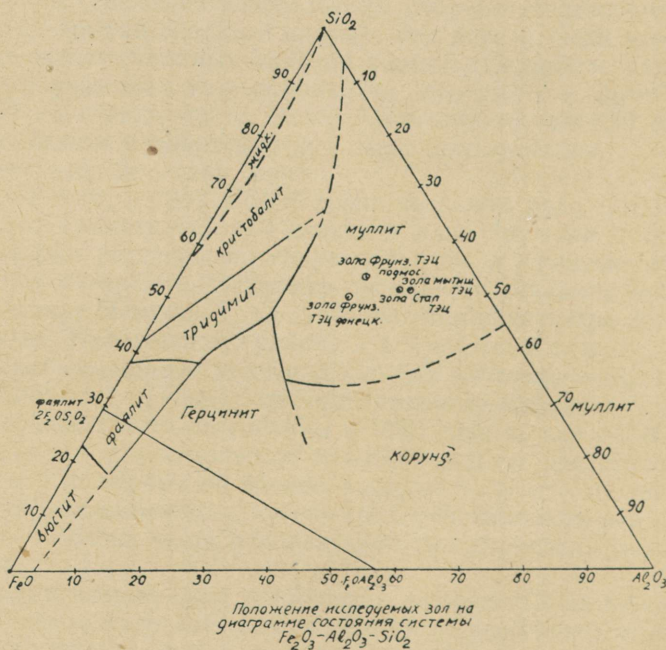


Рис. 1.

Муллит является химически неактивным веществом; кристаллизация его в пределах поля проходит при температурах от 1000 до 1650°.

Сгорание угля в топке котла при пылевидном его сжигании происходит при 1200—1550°. Следовательно, в этих условиях из расплава может частично выкристаллизоваться муллит, а какая-то его часть останется в стекловидной фазе. Наличием последней и можно, с нашей точки зрения, объяснять химическую активность зол.

Петрографические исследования рассматриваемых зол свидетельствуют о том, что кристаллообразование в золах находится еще в зачаточном состоянии. Основная масса золы представляет собой стеклообразную фазу.

В химическом составе зол преобладают окислы SiO_2 и Al_2O_3 . Так, в золах содержится SiO_2 35—45%, Al_2O_3 20—38%, CaO 3—7%.

По методике ГОСТ 5382—50 нами было определено количество растворимых SiO_2 и Al_2O_3 в золах, содержание которых колебалось в пределах 2—5%.

По данным В. Ф. Журавлева (1), при взаимодействии CaO с активной гидравлической добавкой в присутствии воды появление кристаллов гидросиликата кальция было обнаружено рентгенографически только лишь через 9 месяцев.

Поэтому при взаимодействии зол с CaO и водой наряду с гидросиликатами кальция основными вновь образующимися минералами, которые обеспечивают рост прочности, особенно в начальные сроки твердения, должны, по видимому, являться гидроалюминаты кальция.

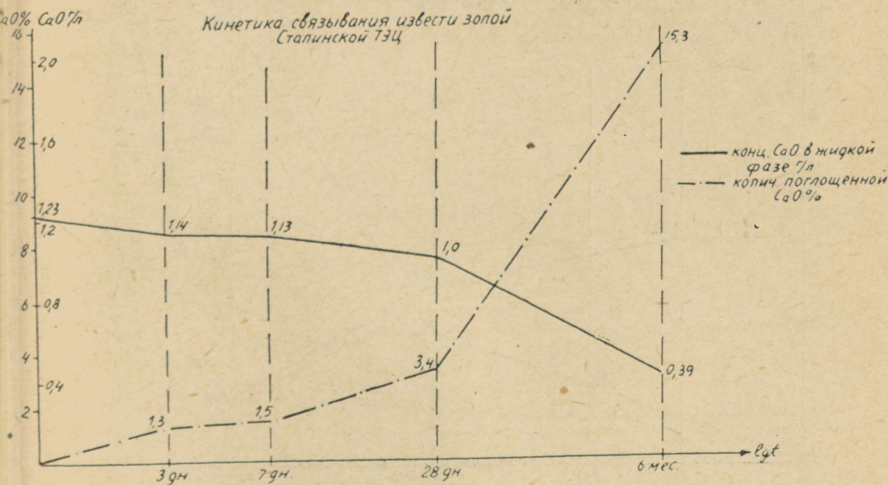


Рис. 2а.

Это предположение было подтверждено результатами исследований взаимодействия зол с водными растворами CaO, при котором происходит постепенное поглощение CaO из водного раствора Ca(OH)₂ до равновесной концентрации гидроалюминатов кальция (рис. 2а, б, в).

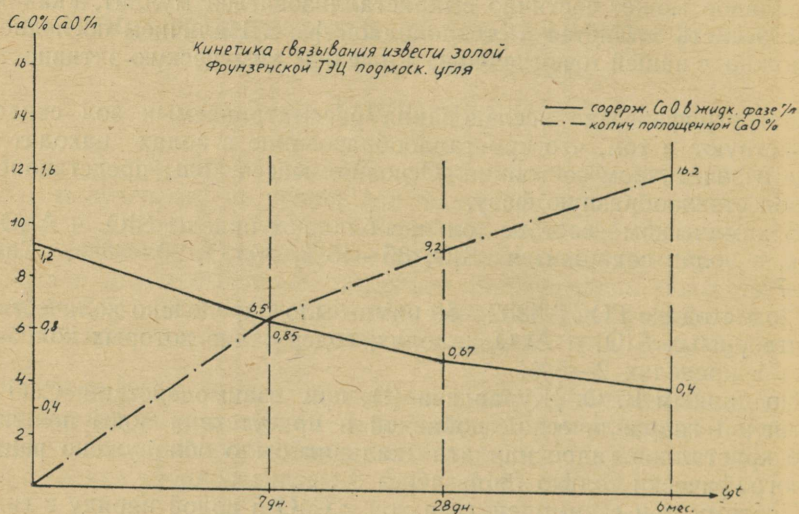


Рис. 2б.

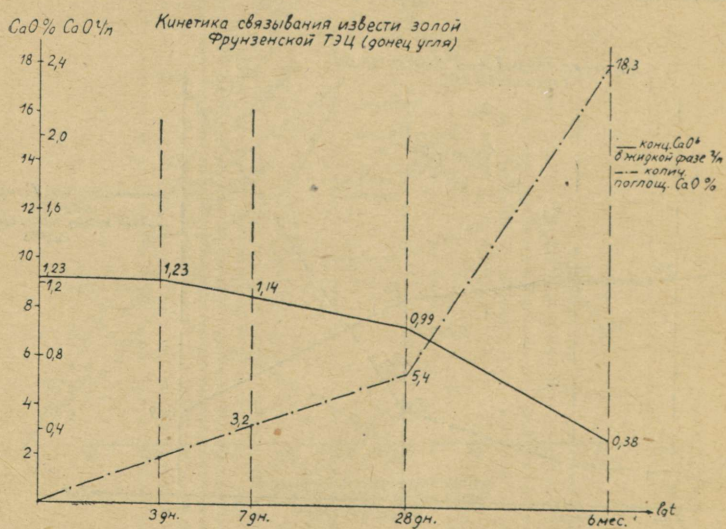


Рис. 2в.

При взаимодействии зол с водными растворами CaO и CaSO_4 происходит поглощение этих соединений до равновесной концентрации CaO и CaSO_4 , соответствующей сульфалоюминату кальция по SO_3 — 0,065 г/л и по CaO — 0,045 г/л (рис. 3а, б, в).

Из сопоставления рис. 2а, б, в с рис. 3а, б, в видно, что наличие в растворе CaSO_4 способствует поглощению CaO , причем для

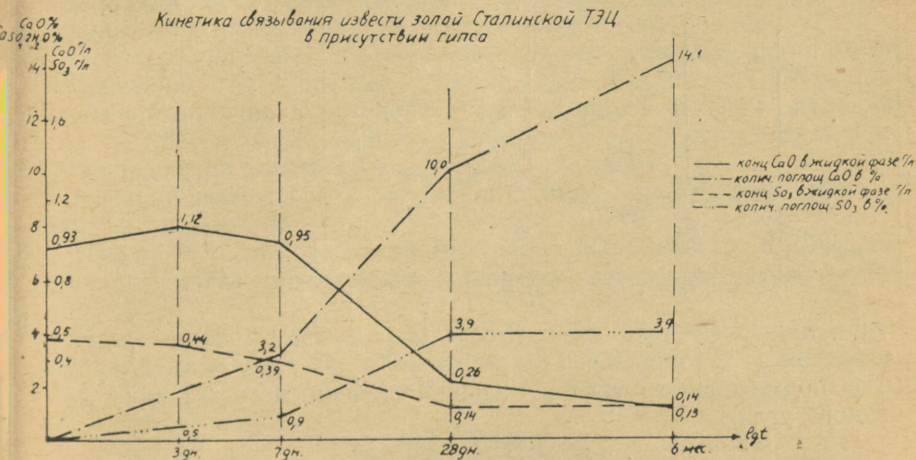


Рис. 3а.

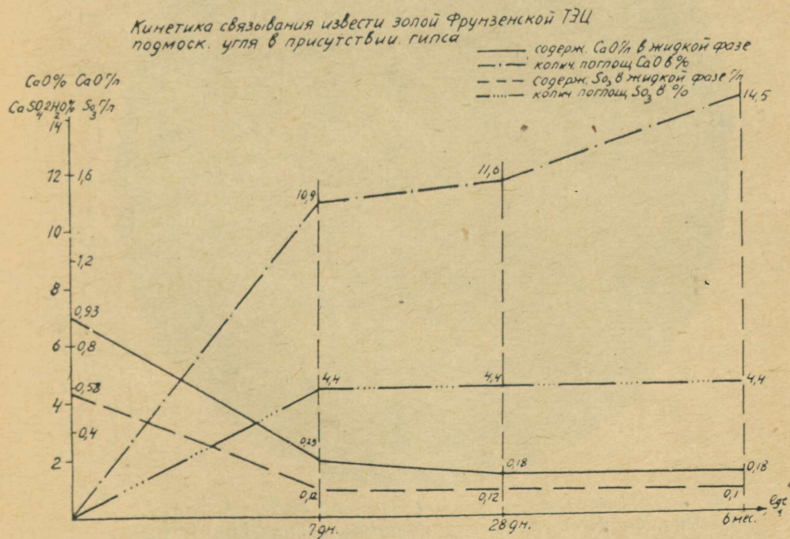


Рис. 3б.

CaO% CaO%
CaSO₄2H₂O% SO₃%
2% 2%

Кинетика связывания извести золой Фрунзенской ТЭЦ (донец угля)
в присутствии гипса

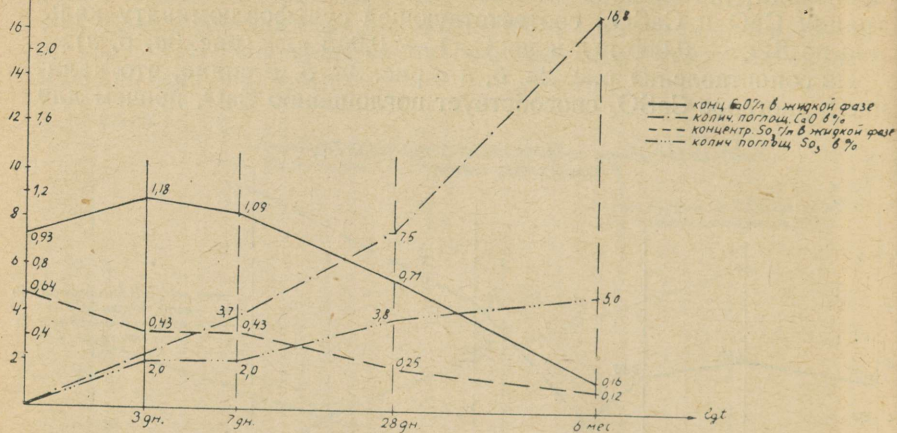


Рис. 3в.

золе подмосковного угля в большей степени, чем для золе донецкого угля.

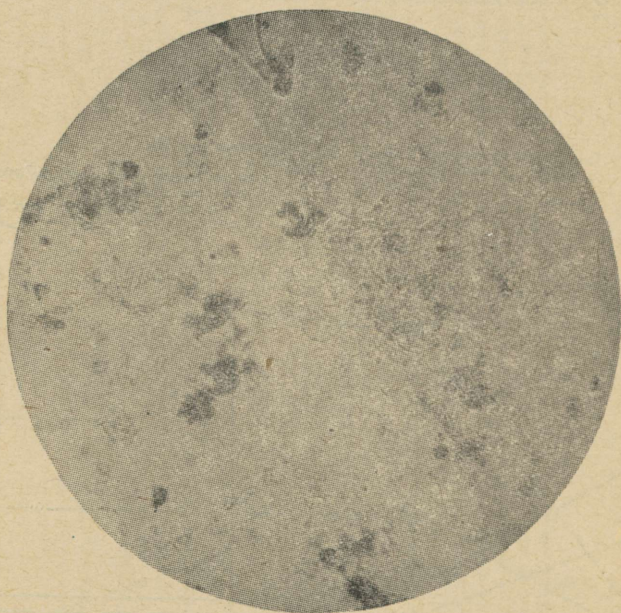


Рис. 4а. Кристаллы гидроалюмината кальция $\times 320$.
Получены при взаимодействии золе Фрунзенской
ТЭЦ (подмоск. угля) с известью в течение 6 месяцев.

Из трех практически почти одинакового химического состава зол подмосковного угля наиболее активно поглощала CaO из водного раствора Ca(OH)₂ зола подмосковного угля сухого удаления и наименее активно зола гидроудаления.

Зола донецкого угля, несмотря на меньшее содержание в своем составе Al₂O₃, поглощала CaO из водного раствора Ca(OH)₂ активнее, чем зола гидроудаления. Оба эти фактора указывают, повидимому, на большое значение фазового состава зол.

Петрографическое исследование осадков, полученных при взаимодействии зол с водными растворами CaOH₂ и CaSO₄, показывает наличие в твердой фазе гидроалюминатов кальция ($N_p = 1,510$ и $N_g = 1,538 - 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13,5 H_2O$) и гидросульфоалюминатов кальция ($N_{cp} = 1,460 - 1,467$).

На микрофотографиях рис. 4а, б, в видны кристаллы вышеуказанных соединений.

При прогреве таких же водных растворов Ca(OH)₂ и золы при 80° происходит значительное ускорение связывания извести золой.

При замене в системе CaO—зола—вода окиси кальция портландцементом характер образующихся соединений не изменяется.

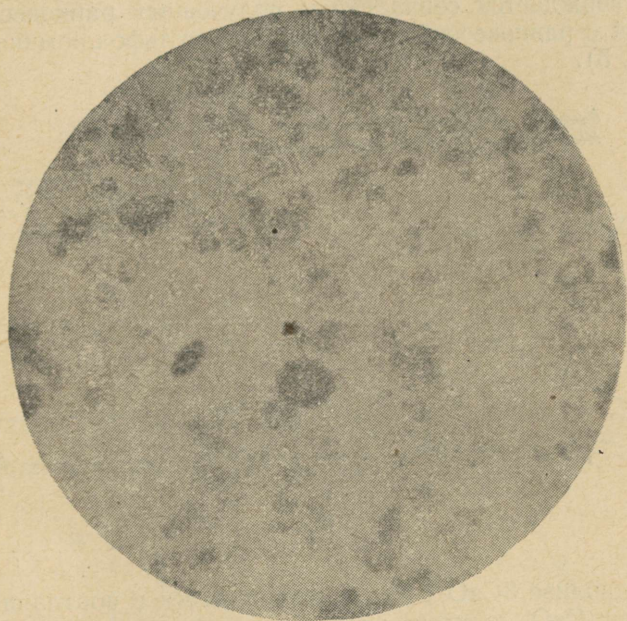


Рис. 4б. Кристаллы гидроалюмината кальция $\times 320$. Получены при взаимодействии золы Фрунзенской ТЭЦ (подмоск. угля) с гипсом и известью в течение 6 месяцев.

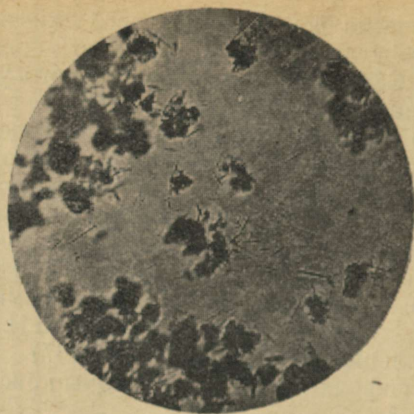


Рис. 4в. Кристаллы сульфоалюмината кальция $\times 320$. Получены при взаимодействии золы Сталинской ТЭЦ (подмоск. угля) с гипсом и известью в течение 28 дней.

Это подтверждается совпадением полученных равновесных концентраций с равновесной концентрацией сульфоалюмината кальция (рис. 5).

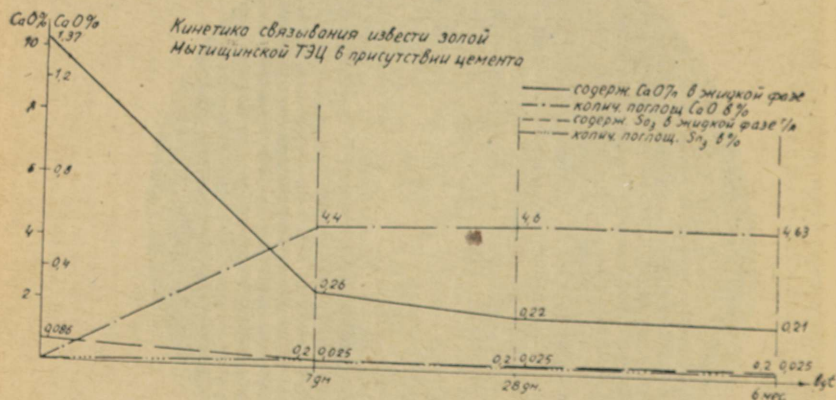


Рис. 5.

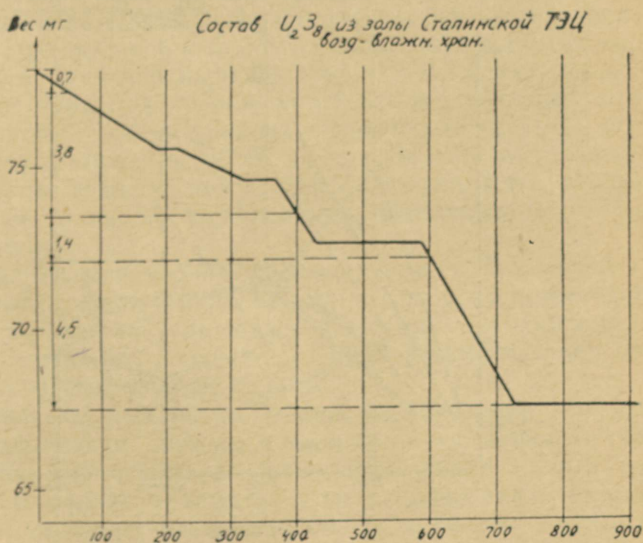
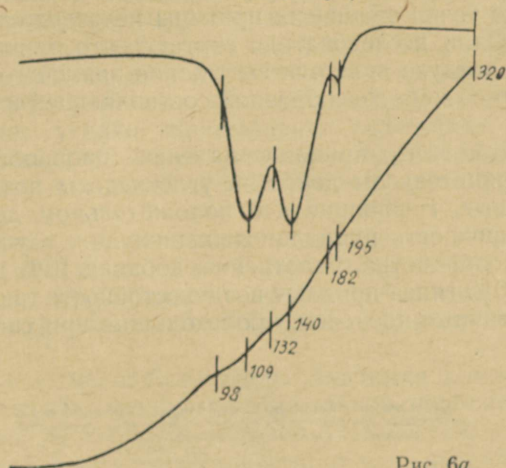
При гидролизе $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, содержащегося в портландцементе, выделяется CaO, которая расходуется вначале на образование гидроалюминатов, а вслед за этим и сульфоалюминатов кальция.

Из литературных данных известно, что при непрерывном нагревании гидроалюминатов кальция потеря ими химически связанной воды происходит в интервале температур от 50 до 350°C.

При непрерывном нагревании сульфоалюминат кальция теряет основное количество химически связанной воды в интервале температур от 50 до 150°С.

Термический анализ по методу Н. С. Курнакова и на торзионных весах (как это видно из рис. 6а, б) показал, что температуры дегидратации зольного вяжущего совпадают с температурами дегидратации гидроалюминатов и сульфоалюминатов кальция.

Зола Мытищенской ТЭЦ
состав Ca_7Z_3 , возд. хран.



Из всех полученных данных вытекает, что процессы твердения зол при добавке к ним CaO и CaSO_4 в присутствии воды обусловлены образованием гидросиликатов, гидроалюминатов и сульфалюминатов кальция.

Наиболее характерным и отрицательным свойством всех вяжущих, получаемых на основе гидравлических добавок и извести, является недостаточная воздухостойкость.

В литературных данных, имеющихся по исследованию прочности известково-пуццолановых, известково-глинитных, известково-зольных вяжущих, высказываются совершенно различные и противоположные точки зрения на причины невоздухостойкости этих материалов. Одни исследователи считают, что причиной падения прочности на воздухе является высыхание вяжущего, приводящее к сокращению объема гелеобразной составляющей и образованию трещин.

Другие считают, что причина падения прочности вяжущего кроется в отрицательном действии углекислоты воздуха. Однако имеются данные, говорящие и о положительном действии углекислоты на прочность пуццолановых вяжущих. Существует мнение, что термообработка, уплотнение, добавка 10% цемента, 30% извести, 5—10% гипса придают воздухостойкость таким вяжущим.

Однако истинные процессы, происходящие при снижении проч-

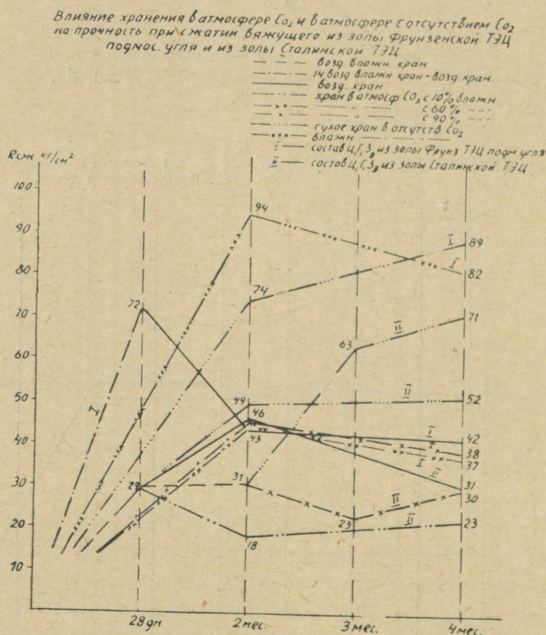


Рис. 7.

ности на воздухе и при повышении воздухоустойкости, указанными выше способами оставались нераскрытыми.

Чтобы установить, вызывает ли снижение прочности зольных вяжущих на воздухе действие углекислоты воздуха или высыхание, было исследовано влияние каждого из этих факторов в отдельности. Различные составы вяжущего подвергались искусственному высушиванию в атмосфере, где отсутствовала углекислота. Искусственной карбонизации подвергались различные составы и минералы зольного вяжущего.

Из рис. 7 видно, что такое высушивание приводило к увеличению прочности вяжущего (в 2 раза и более) по сравнению с прочностью вяжущего, твердевшего в нормальных условиях.

● Это можно объяснить тем, что при высыхании кристаллических продуктов (каковыми являются минералы зольного вяжущего) явления усадки минимальны вследствие значительной прочности кристаллического скелета, и высыхание, уменьшая количество воды, находящееся в вяжущем, повышает прочность последнего.

Искусственная карбонизация вяжущего с 10% содержанием извести или 10% содержанием портландцемента ведет к снижению прочности, а при большом количестве извести или портландцемента приводит к стабилизации или увеличению прочности в 1,5—2 раза.

Опыты Завьялова и Борисовой (Академия коммунального хозяйства) показали, что при искусственной карбонизации известково-песчаных растворов с содержанием 7—14% CaO прочность их возрастает в 5—8 раз, независимо от влажности воздуха и концентрации в нем углекислоты, причем для одной и той же смеси повышение степени карбонизации приводит к большей прочности.

Наши опыты с вяжущим, содержащим до 30% извести, показали, что рост прочности при искусственной карбонизации значительно меньший, чем при карбонизации чистых известково-песчаных растворов. При 10% содержании извести в вяжущем карбонизация приводит даже к снижению прочности. Из этого можно заключить, что компоненты, составляющие зольное вяжущее, разлагаются (кроме извести) под действием углекислоты, уменьшая положительное влияние карбонизации извести, не связанной в новообразования.

Для подтверждения отрицательного действия углекислоты на зольное вяжущее были поставлены опыты по искусственной карбонизации гидроалюминатов и сульфоалюминатов кальция, находившихся в осадках, полученных при взаимодействии зольных растворов извести и гипса.

Через несколько дней искусственной карбонизации этих осадков петрографическим исследованием было установлено значительное количество кристаллов карбоната кальция и гипса, которых не было в осадках, не подвергнутых карбонизации, и которые появились в результате полного разложения гидроалюминатов и

сульфоалюминатов кальция. В этих карбонизированных осадках кристаллов гидроалюминатов и сульфоалюминатов обнаружено не было.

Следовательно, можно считать установленным, что невоздухостойкость зольного вяжущего является следствием разложения минералов вяжущего углекислотой воздуха.

Была исследована зависимость воздухостойкости известково-зольного вяжущего от состава вяжущего, от плотности и размера образцов.

Эта зависимость устанавливалась путем определения прочности на сжатие пластичных образцов раствора размерами $3 \times 3 \times 3$ см и $7 \times 7 \times 7$ см после длительного хранения их в воздушных и воздушно-влажных условиях.

Результаты испытаний показали, что более воздухостойкими являются составы вяжущего в плотных растворах, изготовленных на пористом основании, чем в менее плотных, изготовленных на сплошном основании.

Образцы вяжущего размерами $7 \times 7 \times 7$ см (как видно из рис. 8а, б, в) в ряде случаев были невоздухостойкими, в то время как образцы из этого же вяжущего в кубиках размером $3 \times 3 \times 3$ см были воздухостойки.

Вяжущее из золы донецкого угля и золы гидроудаления подмосковного угля (как видно из рис. 8а, б) в составах с 10% извести давало снижение прочности в шестимесячном возрасте, но по истечении года прочность вновь возрастала.

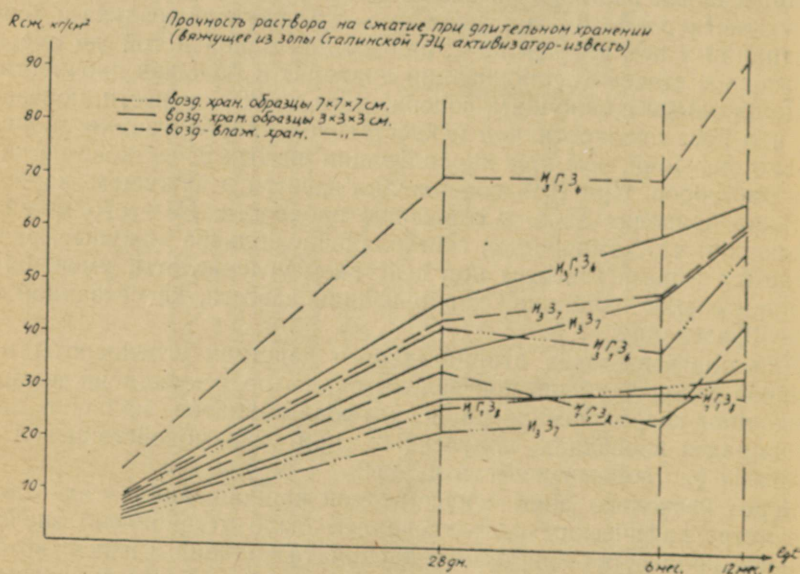


Рис. 8а.

Прочность раствора на сжатие при длительном хранении вяжущего из золы Фрунзенской ТЭЦ донец. угля, активизатор - известь.

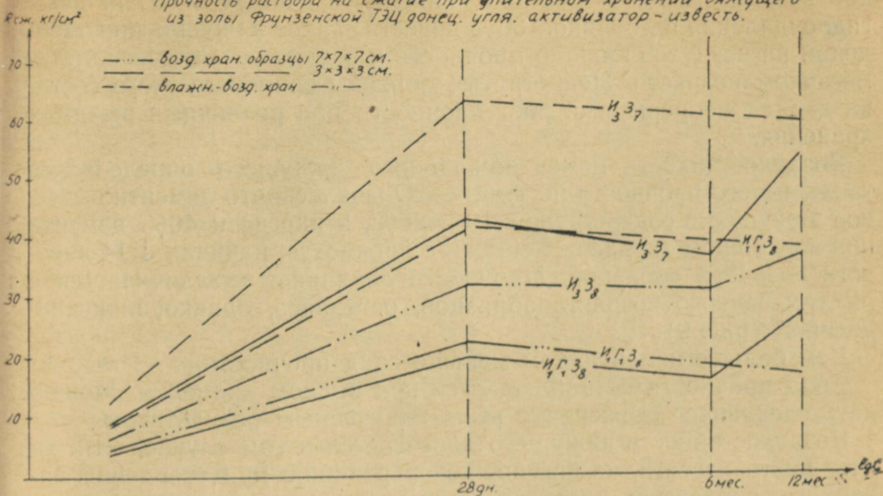


Рис. 8б.

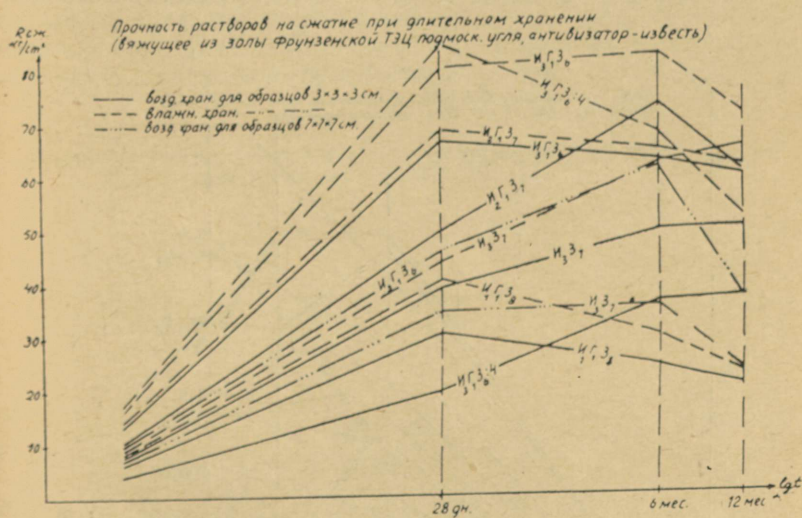


Рис. 8в.

Вяжущее из наиболее активной золы сухого удаления оказалось воздухостойким (как видно из рис. 8в) только в составах с 30% извести.

Влияние термической обработки на воздухостойкость вяжущего определялось прочностью на сжатие прогретых при 80°С образ-

цов воздухостойкого состава вяжущего, полученного из золы гидроудаления с добавкой 30% извести. Такое вяжущее при твердении на воздухе снижало прочность и в шести-, и в двенадцатимесячном возрасте. Непрогретые образцы вяжущего этого состава давали непрерывный рост прочности при различных режимах хранения.

Воздухостойкость цементно-зольного вяжущего определялась также по его прочности на сжатие. Оказалось, что цементно-зольное вяжущее с содержанием 10 и 20%, а иногда и 40% цемента при воздушном твердении снижает прочность, начиная с 14-дневного возраста образцов. Прочность начинает увеличиваться с шестимесячного возраста образцов, оставаясь, однако, ниже 28-дневной (рис. 9).

Чем больше цемента, тем меньше спад прочности.

Спад прочности не наблюдается при водном хранении. Можно дать следующее объяснение всем полученным результатам.

Воздухостойкость вяжущего достигается в том случае, если за счет части извести, не вступившей в реакцию при твердении вяжущего, образуется плотный, труднопроницаемый слой карбоната кальция, препятствующий диффузии содержащейся в воздухе углекислоты внутрь образца вяжущего. Когда процесс связывания

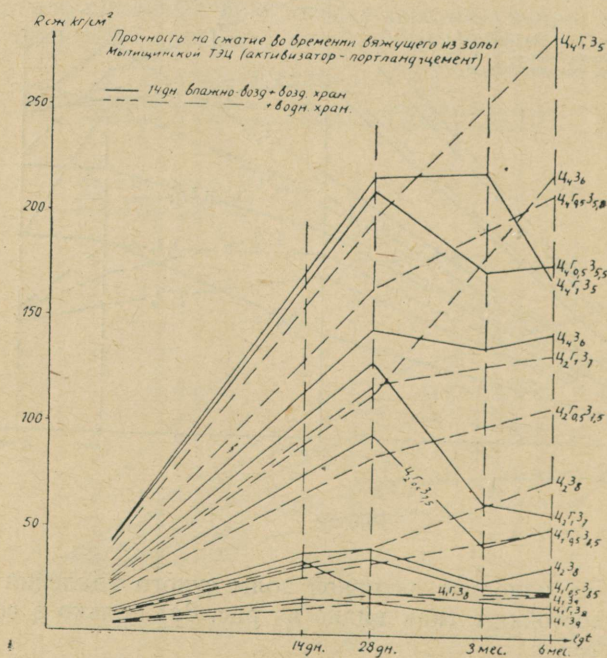


Рис. 9.

известии с образованием гидроалюминатов и сульфоалюминатов кальция опережает карбонизацию известии и ее не хватает для создания плотного карбонатного слоя, тогда углекислота воздуха проникает в толщу раствора, разрушает минералы вяжущего, и вяжущее становится неводухостойким. Поэтому бóльшая активность золы, добавка гипса, термообработка вяжущего при атмосферном давлении, ускоряя связывание известии золой, снижают водухостойкость вяжущего. Более плотные газонепроницаемые растворы, приготовленные на пористом основании, оказались более водухостойкими, чем менее плотные растворы, приготовленные на сплошном основании. Отношение поверхности образца к объему образца в кубиках $3 \times 3 \times 3$ см в 2,3 раза больше, чем в кубиках $7 \times 7 \times 7$ см. В связи с этим карбонизация первых кубиков идет значительно скорее, чем вторых. Этим и объясняется, что вяжущее одного и того же состава в кубиках $7 \times 7 \times 7$ см обладает неводухостойкостью и оказывается водухостойким в кубиках $3 \times 3 \times 3$ см.

Минералы зольного вяжущего разлагаются под действием углекислоты воздуха и дают снижение прочности. Это снижение происходит до тех пор, пока все минералы вяжущего не разложатся или не создается плотный слой карбоната кальция. В последнем случае, до создания непроницаемого для углекислоты слоя карбоната кальция, углекислота, разрушая минералы вяжущего, будет приводить к снижению прочности вяжущего.

*Научно-исследовательский институт по строительству (НИИ-200)
Министерства строительства СССР*

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Журавлев, Химия вяжущих веществ, Л.—М., 1951.

ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ ПРИМЕНЕНИЯ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ В СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

С. П. ВЕСКИ

В 1940 году, в связи с интенсивным ростом объема строительных работ в Эстонской ССР, единственный цементный завод «Пунане Кунда» и известеобжигательные заводы не смогли покрыть возросших потребностей в вяжущих материалах. Государственной Плановой Комиссией Эстонской ССР было дано задание Таллинскому политехническому институту установить возможность применения золы горючего сланца в качестве вяжущих веществ.

Согласно полученным от Института рекомендациям в Таллине в 1948 году был построен и сдан в эксплуатацию завод «Кукермит», выпускающий строительное вяжущее, изготовленное путем размола сухой золы, получаемой от слоевого сжигания горючих сланцев на колосниковых решетках в топках паровых котлов.

Это вяжущее — кукермит обыкновенный марок «25» и «50» — применяется в кладочных и штукатурных растворах при строительстве зданий II и III классов.

Согласно утвержденным «Техническим указаниям по применению кукермита обыкновенного в строительных растворах» (ТУк ЭССР 1—53) кукермит обыкновенный применяется без добавок для изготовления строительных раствором марок «2», «4», и «10». В растворы марок «25», «50» и «100» необходимо добавлять портландцемент.

В целях повышения качества сланцезольного вяжущего на заводе «Кукермит» применяется добавка 30% глиниста, так как он не требует предварительной сушки, как диатомит и трепел.

Это новое вяжущее, так называемый кукермит обыкновенный улучшенный, выпускается заводом с июня 1954 года и имеет марки «75» и «100».

Новые сланцезольные вяжущие нашли широкое применение. Они успешно заменяют портландцемент и известь в строительных растворах низких и средних марок.

Однако с экономической точки зрения у строителей имеются обоснованные претензии к стоимости кукермита обыкновенного и в особенности кукермита обыкновенного улучшенного.

Сметная стоимость строительного раствора определяется на основании стоимости портландцемента и извести. В случае применения сланцезольных вяжущих, особенно кукермита обыкновенного улучшенного, растворы обходятся дороже.

Делая попытки более точно установить экономичность применения местных вяжущих в строительных растворах разных марок, в стоимость одного кубометра раствора мы включаем только стоимость вяжущих материалов и песка.

При проведении анализа стоимости одного кубометра строительного раствора на разных вяжущих (цемент, известь, кукермит) в условиях республики за основу были взяты цены строительных материалов франко-приобъектный склад, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Данные, взятые за основу при расчете стоимости вяжущих материалов и песка на 1 м³ строительного раствора

Наименование расходов	Цемент марки «300», франко станция назначения	Кукермит марки «50»	Кукермит марки «100»	Известь* (Тамсалу) II сорт	Песок**
	Франко-завод				
	руб.	руб.	руб.	руб.	руб.
Стоимость одной тонны . . .	147.—	46.40	140.—	94.—	29.38
Транспорт от завода до станции отправления . . .	—	6.84	6.84	6.84	—
Транспорт от станции отправления до станции назначения (в среднем 85 км)	—	4.98	4.98	4.98	—
Транспорт от станции назначения до приобъектного склада	17.57	17.57	17.57	22.14	—
Наценка сбытовых организаций	0,76	0,76	0,76	0,76	—
Тара	23.—	23.—	23.—	—	—
Складские расходы	4.—	4.—	4.—	4.—	—
Стоимость 1 тонны франко приобъектный склад	192.33	103.55	197.15	132.72	29.38

* Из тонны извести можно изготовить не менее 2 м³ теста; стоимость гашенной извести 7.40 руб. Стоимость 1 м³ известкового теста 70.06 руб.

** Стоимость песка дана за 1 м³.

Сравнение проведено для раствора марок «4», «10», «25» и «50», т. е. таких составов, которые чаще других применяются в строительной практике (табл. 2).

Подчиненность стройки	Стоимость 1 м ³ строительного раствора в Эстонской ССР					Стоимость одного кубометра строительного раствора							
	Стоимость тонны франко-приобъектный склад в руб.					Стоимость		Марка «10»		Марка «25»		Марка «50»	
	Цемент марки «300»	Кукермит марки «50»	Кукермит «100»	Известь II сорт Извест- ковое тесто*	Пе- сок*	Марка «4»		а) цемент : известь 1 : 3 : 12 б) кукермитовый (M50) 1 : 2,5 в) кукермит (M50) : известь 1 : 1 : 6 г) кукермит (M100) известь 1 : 0,5 : 5,5	а) цемент : известь 1 : 3 : 12 б) кукермитовый (M50) 1 : 2,5 в) кукермит (M100) : известь 1 : 0,1 : 3,5	а) цемент : известь 1 : 1 : 8 б) цемент : кукермит (M50) 1 : 3,3 : 13 в) кукермитовый (M100) 1 : 2,5 г) кукермит (M100) : цемент 1 : 0,2 : 3	а) цемент : известь 1 : 0,5 : 5,5 б) цемент : кукермит (M50) 1 : 1 : 5 в) кукермит (M100) : цемент 1 : 0,5 : 4		
						руб.	сравни- тельная стоимость растворов в %					руб.	сравни- тельная стои- мость ра- створов в %
Государ- ственные стройки	192.33	103.55	197.15	132.72 70.06*	29.38	а) 52.73 б) 66.66 в) 56.59 г) 68.01	100 127 107 129	а) 66.13 б) 66.66 в) 82.07	100 100,5 125	а) 66.99 б) 70.79 в) 100.75 г) 103.91	100 105 150 155	а) 82.54 б) 94.18 в) 102.56	100 114 124
средняя по рес- публике			89.15**			г) 50.30	96	в) 54.30	82	в) 61.47 г) 71.18	92 107	в) 78.28	95
средняя по Таллину	192.33	88.02	181.62	132.72 70.06*	29.38	а) 52.73 б) 61.06 в) 54.26 г) 65.45	100 116 103 124	а) 66.13 б) 61.06 в) 78.08	100 92 118	а) 66.99 б) 67.24 в) 94.76 г) 99.25	100 100,3 141 148	а) 82.54 б) 91.38 в) 99.09	100 111 120
Колхозное и ин- дивидуальное строительство	375.73	103.55	197.15	132.72 70.06*	29.38	а) 52.73 б) 66.66 в) 56.59 г) 68.01	100 127 107 129	а) 84.47 б) 66.66 в) 82.07	100 79 97	а) 94.49 б) 87.66 в) 100.75 г) 118.58	100 93 106 125	а) 126.56 б) 138.19 в) 130.09	100 110 102

* Стоимость 1 м³.

** Предполагаемая стоимость вяжущего марки «100» из пылевидной золы

на проектируемом заводе в Кохтла-Ярве.

Для раствора марки «4» были сравнены стоимости известковых, кукермитовых (обыкновенный и улучшенный) и смешанных растворов (кукермит : известковое тесто : песок).

Анализ показал, что из низкомарочных строительных растворов марки «4» самым дешевым является известковый раствор (1 : 3; 53 руб./м³) и смешанный раствор (кукермит обыкновенный : известковое тесто; 56 руб./м³).

Стоимость одного кубометра строительного раствора марки «4» из обыкновенного кукермита на государственных стройках республики выше стоимости известкового раствора в среднем на 30%.

При сравнении стоимости одного кубометра строительного раствора марки «10» выясняется, что стоимость смешанного раствора (портландцемент : известковое тесто : песок) и раствора из кукермита обыкновенного одинаковая, т. е. 66 руб. Удорожание на 16 рублей одного кубометра раствора имеет место при смешанном растворе из кукермита улучшенного и известкового теста.

При марке «25» смешанные растворы на цементе и обыкновенном кукермите дороже смешанных растворов на цементе и известковом тесте в среднем по республике на 5%; растворы того же состава при марке «50» дороже на 13%.

При использовании в строительных растворах кукермита улучшенного марки «100» удорожание каждого кубометра раствора по сравнению с другими растворами составляет в среднем 30%.

Эти данные выведены в среднем по республике.

Учитывая, что из общего объема строительных работ республики значительная часть (около 50%) проводится в Таллине, необходимо было вывести стоимость кукермитовых растворов также и для Таллина. Завод «Кукермит» находится в Таллине и поэтому расходы, связанные с железнодорожным транспортом кукермита, отпадают. Это дает снижение стоимости тонны кукермита на 15 руб. или примерно 5 руб. на кубометр кукермитового раствора.

По Таллину соотношение стоимостей строительных растворов аналогично среднереспубликанским показателям, за исключением стоимостей строительных растворов марки «10», из которых самым дешевым является раствор из обыкновенного кукермита, стоимость которого 61 руб./м³.

Исходя из того, что на строительном растворе марки «10» проводится в среднем 30% кладки стен от общего объема строительных работ и учитывая объем строительства в 1955 году, при использовании этого раствора экономия денежных средств будет составлять более 200 тысяч рублей.

В кооперативном и индивидуальном секторах, для которых тонна портландцемента обходится дороже на 182 рубля, наиболее экономно применять при строительных растворах марки «4» известковые растворы, при марке «10» — растворы из обыкновенного кукермита, при марке «25» — смешанные растворы из це-

мента и обыкновенного кукермита, а при марке «50» — смешанные растворы из цемента и извести.

В кооперативном секторе, исходя из установленного плана строительства на 1955 год, экономия денежных средств при применении кукермитовых растворов марки «10» и смешанных растворов (цемент: кукермит обыкновенный: песок) марки «25» составит ориентировочно 300 тысяч рублей.

Себестоимость тонны обыкновенного кукермита в 1954 году снизилась на 5 рублей.

Можно предполагать, что в 1955 году отпускная цена кукермита обыкновенного марки «50» франко-завод будет составлять не более 40 рублей. Это снизит стоимость одного кубометра строительного раствора из обыкновенного кукермита в среднем на 3%.

Необходимо отметить, что в период освоения производства кукермита улучшенного возник целый ряд непроизводительных расходов, которые повысили отпускную цену до 140 рублей за тонну.

Более целесообразное использование механизмов и рабочей силы позволило снизить себестоимость тонны улучшенного кукермита к концу 1954 года на 25%. В 1955 году имеется возможность значительно снизить себестоимость кукермита, доведя отпускную цену до 100 рублей за тонну франко-завод.

При использовании в строительных растворах улучшенного кукермита марки «100» стоимостью 100 рублей вместо 140 рублей, стоимость кубометра раствора понизится в среднем на 15%.

Одной из возможностей снижения себестоимости кукермита в ближайшие годы будет осуществление пневматического транспорта золы с Таллинской электростанции на завод «Кукермит». Это мероприятие ликвидирует нерациональную перевозку золы в малообъемном контейнере и освободит для других работ около восьми человек рабочих.

Учитывая высокую стоимость мешкотары (23 рубля на тонну), строительным организациям Таллина необходимо было бы еще раз обсудить вопрос об организации транспорта кукермита без тары, в контейнерах, и хранении его на соответствующих складах.

После проведения упомянутых выше мероприятий, а также улучшения организации и повышения производительности труда, стоимость обыкновенного кукермита будет в ближайшие годы, несомненно, доведена до уровня стоимости других местных вяжущих, и растворы на этих вяжущих окажутся значительно экономичнее, чем растворы на портландцементе и извести.

Труднее будет достичь необходимого снижения себестоимости кукермита улучшенного марки «100» при малом объеме выпуска продукции. Этим вопросом необходимо серьезно заняться работникам завода «Кукермит» и Министерства промышленности строительных материалов ЭССР.

В части выпуска высокомарочного кукермита необходимо отметить, что правительством предусмотрено построить в ближайшие годы в Кохтла-Ярве завод по производству вяжущего марки

«100» и выше из пылевидной сланцевой золы. Годовая мощность этого завода будет в 2,5 раза больше мощности завода «Кукермит» в настоящее время. На этом заводе будут построены также цех по производству крупных блоков мощностью 20 тыс. м³ в год и цех минеральной ваты и теплоизоляционных матов мощностью 10 тыс. тонн в год.

При ориентировочном подсчете стоимости тонны этого вяжущего (учитывая, что, подача золы на завод будет происходить посредством пневматического транспорта) получается, что отпускная цена франко-завод будет на 11 рублей дешевле, чем стоимость тонны обыкновенного кукермита в настоящее время (при марке вяжущего в два и более раз выше, чем марка кукермита обыкновенного).

Применение этого вяжущего в строительных растворах значительно выгоднее, чем кукермита улучшенного марки «100».

При изготовлении строительных растворов марки «4» из нового вяжущего стоимость их совпадает со стоимостью самых дешевых растворов, а именно — известковых. Стоимость строительного раствора марки «10» из гидравлического кукермита меньше стоимости цементно-известковых растворов, как самых дешевых, на 12 рублей, т. е. на 20%. Для растворов марки «25» удешевление будет составлять по сравнению с самыми малостоящими растворами 5 рублей и для растворов марки «50» — 4 рубля.

Новое вяжущее дает возможность изготовлять более дешевые строительные растворы, чем из других местных вяжущих, что в свою очередь позволит удешевить строительные работы.

*Министерство промышленности
строительных материалов ЭССР*

КРУПНОРАЗМЕРНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ ИЗ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Р. П. РЕИЗМАН

Из года в год увеличивающиеся объемы строительных работ требуют все больше и больше строительных материалов, в том числе стеновых и строительных вяжущих — цемента и извести.

Это вызывает стремление увеличивать производство строительных материалов за счет строительства новых заводов, т. е. путем вовлечения новых капиталовложений, материальных и людских ресурсов в промышленность строительных материалов.

Однако для Эстонской ССР да, очевидно, и для всей Прибалтики, а также для Ленинградской, Псковской и Новгородской областей вопрос увеличения производства строительных материалов может быть решен более экономным способом, за счет использования сланцевых зол — отходов энергетических установок, применяющих прибалтийские горючие сланцы в качестве топлива.

В докладах Второго совещания с достаточной полнотой описаны свойства сланцезольных вяжущих и материалов, получаемых из них. Нужно отметить, что эти свойства были известны в основном уже давно, во всяком случае более двух лет, а вяжущие свойства сланцевой золы — свыше 25 лет. Но эти вяжущие не привлекали внимания строителей, которые рассматривали их как суррогаты цемента и извести, имеющие к тому же и весьма неоднородные качества (медленно твердеющие, неводо- и неморозостойкие и т. д.). Стоимость этих вяжущих, выпускаемых Министерством промышленности строительных материалов ЭССР, также была чрезмерно высока, вследствие чего применение сланцезольных материалов не сулило экономических выгод.

Новые возможности появились при применении гидротермальной обработки сланцезольных вяжущих. Гидротермальная обработка сланцезольных бетонов и растворов дала при первых опытах в 1952 г. вполне положительные результаты. Это позволило сектору строительства и архитектуры Института строительства и строительных материалов запланировать на 1953 г. разработку сооружений из крупноразмерных строительных деталей, изготовляемых из сланцезольных вяжущих.

При разработке сооружений основное внимание было направлено на всемерное уменьшение веса всего сооружения в целом, снижение трудоемкости изготовления конструкций и на максимальное применение принципа сборности при одновременной экономии

металла, цемента и древесины, являющихся для республики строго фондируемыми материалами.

Осуществление этих требований способствовало бы сокращению сроков возведения сооружений и снижению стоимости как строительства в целом, так и транспортных расходов в особенности.

Уже в 1952 г. было ясно, что сохранность арматуры в сланцевом бетоне не обеспечивается и что особенно высокопрочных бетонов получить не удастся. Это определило тип конструкций, которые, очевидно, должны быть неармированными или малоармированными, не сильно напряженными и, конечно, иметь несложную технологию. Последнее требование, к сожалению, пока еще не всегда выполняемое при разработке новых конструкций, следует считать основным, так как только легко осваиваемая в производстве конструкция найдет широкое применение и будет внедрена в строительство. К конструкции с неудачной технологией может быть отнесен пенокукермитовый стеновой блок, имеющий внутренний и наружный фактурные слои. Нанесение одного из фактурных слоев в самом блоке возможно только после окончания пропарки, что ведет к удлинению производственного цикла и поэтому едва ли целесообразно. При выборе технологической схемы необходимо было учитывать низкий уровень технической оснащенности промышленности строительных материалов и особенно строительных организаций республики, а также почти полное отсутствие опыта по изготовлению сборного железобетона в республиканских строительных организациях.

Несмотря на значительные преимущества автоклавирования, при котором получают изделия с повышенными морозостойкостью, прочностью и долговечностью, из-за отсутствия в республике достаточного количества автоклавов и реальных перспектив их получения в необходимом количестве в ближайшие годы, было решено при проведении экспериментальных работ применять пропарку изделий на стенде, как более простой метод производства строительных деталей. Кроме того, автоклавное производство требует металлических форм, которые весьма трудно изготавливать в условиях только еще зарождающегося опытного производства.

Организация производства на стендах требует меньших капиталовложений по сравнению с камерным и конвейерным производством и дает возможность производить детали любых размеров, что недоступно при автоклавном способе производства.

При выборе типа стеновых конструкций наиболее целесообразной казалась крупноблочная схема, как наиболее простая по технологии и позволяющая применять материалы невысоких марок. Крупнопанельные и каркасные конструкции более трудно осуществить, так как они требуют применения арматуры, корродирующей в сланцевых материалах. В конструкциях стен представлялось возможным применение блоков 1) из кукермитопесчаных растворов, по основным свойствам мало отличающихся от

силикатного кирпича, 2) из кукермито-опилочных смесей, подобных термизу Южного научно-исследовательского института и 3) из ячеистых бетонов. Последние два материала, очевидно, более эффективны, чем первый. В лабораторных условиях кукермито-опилочные смеси при пропарке хороших результатов не дали. В связи с положительными результатами опытов по изготовлению ячеистых сланцезольных бетонов решено было не исследовать крупные блоки из тяжелых кукермито-песчаных смесей, во всяком случае на первом этапе работы.

Для покрытий были выбраны пространственно работающие конструкции, которые наиболее экономичны по расходу материала.

Успешный опыт применения кирпичных сводов-оболочек двойной кривизны, возводимых на низкомарочных растворах, давал основание предполагать, что такие конструкции даже из низкомарочных сланцезольных бетонов вполне осуществимы. Подобного рода конструкция могла быть изготовлена с минимальным расходом арматуры, что облегчило бы защиту ее от коррозии в сланцезольном бетоне.

Разработка конструкций велась применительно к одному из типов сельскохозяйственных сооружений — коровнику. В этом типе здания весьма нуждаются совхозы и колхозы республики.

С конца 1952 г. параллельно с разработкой конструкций, сектор строительства и архитектуры вел подбор и переделку механизмов, необходимых для приготовления пенобетона. В пределах республики не оказалось возможным найти пенобетонмешалку и вместо нее были приспособлены две растворомешалки небольшой емкости (150 и 80 л), которые исправно служат и по настоящее время. Одновременно велась разработка и осуществление конструкций стенда и матриц. Эти стенды и матрицы представляли большой интерес еще и как первый в условиях Эстонской ССР опыт внедрения передовой технологии производства сборного железобетона, широко применяющейся в братских республиках*.

Первые же производственные опыты, проводившиеся летом 1953 г., подтвердили возможность производства стендовым способом крупных пенокукермитовых стеновых блоков, а в матрицах — сводов-оболочек двойкой кривизны в качестве укрупненных элементов покрытия. В связи с этим возникла возможность осуществить строительство опытного крупноблочного здания типа гаража на 2 машины.

Здание, размером 8×16 м в плане, имело стены из пенокукермитовых блоков и было перекрыто двенадцатью панелями в виде

* Строительство стендов и матриц проводилось на средства Института на заводе «Силикат» Министерства промышленности строительных материалов ЭССР при деятельной помощи работников этого завода: директора т. Шмидта, зам. директора т. Янусова, главного инженера т. Кырге, начальника цеха т. Мере и других работников завода, принимавших активное участие и в организации опытного производства.

сводов-оболочек. Панели опирались на наружные стены и на прогон, идущий вдоль оси здания.

Для стен были применены крупные блоки размером до $1,25 \times 1,5$ м, толщиной 35 см вместе с пятисантиметровым фактурным слоем. Объемный вес пенобетона, приготовлявавшегося на обычном кукуермите, колебался в высушенном до постоянного веса состоянии в пределах $0,95$ — $1,05$ т/м³, а при естественной влажности доходил до $1,2$ — $1,3$ т/м³. Теплопроводность пенокукуермита не отличалась от таковой для портландцементного пенобетона.

Из-за отсутствия гидравлического кукуермита фактурный слой делался на портландцементе. Вес блоков колебался от 0,4 до 1,2 тонны. Марка блоков, определенная как по контрольным кубикам, так и по выпиленным из блоков образцам, оказывалась обычно не ниже «35», что вполне достаточно для одноэтажного здания. Проверка размеров блоков показала, что среднее отклонение по длине и ширине от проектных размеров не превышает ± 6 мм, а по толщине ± 9 мм, что следует считать хорошим результатом для деревянных форм.

Технология изготовления блоков очень проста. Вначале на стенд устанавливалась деревянная бортформа, на дно которой укладывался фактурный слой, уплотнявшийся площадочным вибратором или ручной трамбовкой. Свежий слой бетона сразу же насекался для лучшего сцепления с пенобетоном. Затем форма заливалась пенобетоном до самого верха. Вследствие малого объема пенобетонемшалки на 1 блок приходилось делать 7—12 замесов. Во избежание наблюдавшегося расслоения между отдельными замесами, оказалось необходимым перемешивать пенобетонную массу в форме, после чего форма закрывалась крышкой. Эти крышки предотвращали излишнее вспучивание пенобетонной массы, способствовали увеличению однородности пенобетона по всей толще блока и давали возможность получать нужные по толщине размеры блоков, с хорошей внутренней поверхностью. Для лучшего прогрева блоков над стендом был сделан короб из досок, под который пускался пар. В отличие от производства пеноизделий на портландцементе, никакого выдерживания массы до пропарки не производилось, и изделия прогревались сразу же после заливки пенобетона в форму. Благодаря этому несхватившаяся еще пенобетонная масса расширялась и полностью заполняла форму. Такая технология позволяла выпускать качественные блоки.

Панель покрытия была изготовлена в виде бетонного свода-оболочки двоякой кривизны, толщиной 3 см, очерченной по сфере радиусом около 10,5 м.

В плане свод-оболочка имела размер $2,50 \times 3,75$ м. По периметру оболочки имелись ребра толщиной 6 см, в нижней части которых и была расположена арматура. Это облегчало защиту ее от коррозии, так как портландцемент мог быть добавлен только в нижнюю часть ребра оболочки. Панель была утеплена слоем

ячеистого бетона из обычного кукермита толщиной 10 см в замке свода-оболочки. Испытание одной такой панели пробной нагрузкой дало весьма положительные результаты. В панели, опирающейся на 4 точки по углам, первая трещина появилась при дополнительной нагрузке в 700 кг/м^2 из-за достижения арматурой предела текучести. При этом оболочка не потеряла несущей способности и под нагрузкой простояла еще несколько суток. Общий расход арматуры Ст-3 вместе с монтажными крюками составил всего $1,8 \text{ кг на } 1 \text{ м}^2$ покрытия, что в 2—4 раза меньше, чем в обычных конструкциях. К сожалению, при строительстве здания, из-за отсутствия гидравлического кукермита, свода-оболочки пришлось изготавливать из тяжелого бетона на портландцементе.

Панели перекрытия изготавливались в матрицах с деревянными бортами. Технология изготовления их также очень проста. Вначале в ребра оболочки укладывалась арматура, после чего они бетонировались. Уплотнение бетона в ребрах производилось штыковым вибратором или штыкованием вручную. Затем бетонировалась сферическая часть оболочки. Уплотнение бетона производилось площадочным вибратором. Благодаря пологости свода-оболочки, сползания бетона с матрицы при вибрировании почти не наблюдалось. Правильность укладки проверялась шаблонами, после чего поверхность свежеложенного бетона насекалась для лучшего сцепления с пенобетоном. Пенобетон заливался поверх тяжелого бетона, и так же, как и при производстве стеновых блоков, бортформа закрывалась крышкой. Пропаривание начиналось сразу же после бетонирования. Для лучшего прогрева оболочки матрица покрывалась дощатым коробом, под который пускался пар. Производство сводов-оболочек оказалось достаточно простым и поэтому практически доступным для любой строительной организации. Цикл производства, применявшийся при изготовлении сланцезольных деталей, состоял из подъема температуры до $80\text{—}95^\circ\text{C}$ в течение 3 часов, выдерживания при этой температуре в течение 32—36 часов и охлаждения в течение 3 часов (всего 40 часов). По производственным соображениям цикл изготовления деталей был принят равным 48 часам.

Таким образом, можно утверждать, что нам удалось разработать весьма простую и легко осуществимую в условиях почти любой строительной площадки технологию производства бесцементных укрупненных строительных деталей из сланцезольных вяжущих.

Применение портландцемента было вызвано только отсутствием гидравлического кукермита. Успешный опыт изготовления ряда деталей полностью на сланцезольных вяжущих дает возможность утверждать, что изготовление всех деталей можно производить почти без применения портландцемента, используя последний только в целях защиты арматуры от коррозии.

Несмотря на то, что при изготовлении этих строительных деталей уровень механизации был очень низок и все операции, за

исключением приготовления пенобетона, осуществлялись вручную, затраты труда, определявшиеся хронометрированием, не превосходили нормативных, исчисленных по соответствующим сметным справочникам.

При правильной организации производства можно ожидать, что расход рабочей силы на изготовление деталей удастся снизить, очевидно, не менее чем в два раза.

Транспортабельность и монтируемость сланцевоольных строительных деталей были достаточно высокими. Необходимо, однако, отметить, что своды-оболочки оказались чувствительными к неравномерному опиранию. В то же время одна такая панель выдержала перевозку на автомашине на расстояние почти 2000 км без каких-либо признаков повреждений.

Строительство здания из крупных блоков оказалось весьма простым и эффективным и подтвердило правильность и экономичность разработанных ранее конструкций.

Сделанное в таблице 1 сравнение разработанного Институтом проекта коровника с типовым проектом показывает преимущество предлагаемых конструкций.

Таблица 1

Сравнительные технико-экономические данные проектов коровника из крупных сланцевоольных деталей и типового коровника

	Единица измерения	Типовой проект коровника (принят за 100%)	Крупноблочный коровник	В % по отношению к типовому проекту
Стоимость 1 м ² площади здания	руб.	232.—	172.—	74,0
Стоимость одного скотоместа	„	1780.—	1575.—	88,4
Затраты труда на 1 скотоместо	человеко-дней	23,55	17,1	72,6
из них на заводе	„	4,85	12,7	—
„ „ на строительной площадке	„	18,70	4,4	—
Затраты труда на 1 м ² площади здания	„	3,11	1,97	63,5
Вес фундаментов на 10 п. м.	т	13,81	4,37	37,6
Вес наружных стен на 10 м ²	„	8,15	3,34	41,0
Вес покрытия с крышей на 10 м ²	„	3,10	2,92	94,0

При сравнении проектов перспективная стоимость пенокукермита принималась в 150 руб. за 1 м³ в соответствии с единичной расценкой, разработанной Институтом. В настоящее время действует установленная для опытного производства на 1954 г. цена в 300 руб./м³. Эта цена непомерно высока, и завод «Силикат», даже при весьма неблагоприятных условиях производства, сни-

зил за один год себестоимость 1 м³ пенокукермита до 240 руб. Уже при таких ценах пенокукермитовые стены оказываются не дороже применяемых в Ленинграде шлакобетонных. Это позволяет говорить и об экономической целесообразности применения сланцевой золы в строительстве.

Успешное строительство опытного здания гаража на заводе «Силикат» позволило Министерству городского и сельского строительства ЭССР приступить к строительству более крупного здания — четырехрядного коровника на 104 животных.

Проектом, разработанным таллинским отделением «Гипросовхозстроя», было предусмотрено возведение только стен из крупных кукермитовых блоков, так как в Таллине отсутствовали реальные возможности для изготовления необходимого количества сводов-оболочек. Из-за недостаточного контроля за качеством кукермита и технологией изготовления крупных блоков, значительная часть их обладала недостаточной прочностью и морозостойкостью. Это повлекло за собой разрушение поверхности ряда блоков в начале зимнего периода 1954—1955 гг. Однако это не помешало закончить возведение всех стен коровника.

Следует отметить, что качество изделий резко ухудшается при несоблюдении оптимального технологического режима, особенно при недостаточно высокой температуре и влажности воздуха под коробом стенда.

Как уже отмечалось выше, изготовление всех деталей велось на обычном кукермите. Применение гидравлического кукермита способствует значительному повышению прочности и морозостойкости изделий, которые могут быть применены и для двух-трехэтажных зданий.

На основе накопленного при этом строительстве опыта в 1954 г. была осуществлена разработка конструкций индивидуального жилого двухкомнатного дома с мансардой.

Выбор такого объекта обуславливался исключительно соображениями о легкости его постройки. Вместе с тем, строительство такого здания позволило бы опробовать ряд новых конструкций из сланцевозольных материалов.

Фундаменты дома запроектированы сборные из пустотелых блоков на гидравлическом кукермите, стены — из крупных пенокукермитовых блоков. Разрезка стены на блоки — двухрядная, ленинградская. Перекрытие (чердачное) — типа ДИМ с пенокукермитовыми вкладышами. Крыша из крупных панелей — на сланцевозольном тяжелом бетоне. Постройка такого дома могла бы послужить хорошим объектом для наблюдения за долговечностью и надежностью сланцевозольных строительных деталей.

Результаты опытного строительства были высоко оценены вышестоящими республиканскими организациями. На заводе сланцевозольного вяжущего «Кукермит» в г. Таллине было начато строительство цеха крупных пенокукермитовых блоков производительностью около 5000 м³ в год. Такой же цех, но производи-

тельностью 10 000 м³ в год, намечено построить в г. Кохтла-Ярве, с тем чтобы использовать имеющиеся там пылевидные золы.

Значение настоящей работы заключается в том, что экспериментальным путем была доказана возможность изготовления крупноразмерных строительных деталей из сланцевых зол без применения портландцемента. Последнее следует считать особенно важным, так как в республике до последнего времени отсутствовала реальная возможность для развертывания крупноблочного строительства из-за отсутствия необходимого сырья — шлаков.

Важнейшей же задачей на ближайшее будущее следует считать организацию более крупного опытного производства таких деталей и строительство опытных зданий, с тем чтобы всемерно усовершенствовать технологию производства укрупненных деталей и строительство сооружений из них.

*Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР*

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

В. П. ПОЛОНСКИЙ

Во Втором совещании по вопросам расширения использования в строительстве неорганической части горючего сланца-кукерсита, проведенном с 22 по 25 декабря 1954 г. в Таллине, приняли участие 114 представителей 47 организаций, в том числе руководящие работники ЦК КПЭ, Совета Министров ЭССР и министерств, 44 научных работника. 25 участников совещания прибыли из братских республик, из городов Ленинграда, Москвы, Киева. Участие РОСНИИМС, НИИ-200, Института строительства и строительных материалов, Академии архитектуры УССР и представителей производственных организаций позволило критически рассмотреть состояние изучения и внедрения в строительство неорганической части горючего сланца. Совещание провело 5 заседаний, заслушало и обсудило 20 докладов и сообщений. Участники совещания осмотрели промышленные предприятия, на которых организовано производство сланцезольных строительных материалов, и здания, построенные с применением сланцезольного кирпича и крупных блоков.

Работа совещания позволяет подвести некоторые итоги по исследованиям, проведенным с целью расширения использования в строительстве неорганической части горючего сланца-кукерсита, наметить первоочередные задачи по использованию в строительной промышленности этого массового отхода — вторичного сырья и дальнейшие направления исследовательской работы.

В настоящее время, когда партия и правительство призывают работников строительства и промышленности строительных материалов к крутому подъему производительности труда, повышению качества строительства и его удешевлению на базе новой техники и максимальному использованию местных материалов, результаты работы совещания позволяют рекомендовать резкое расширение использования в строительстве дешевых сланцезольных материалов: сланцезольных вяжущих из золы пылевидного сжигания сланца для бесцементных и малоцементных строительных растворов, бетона и железобетона; сланцезольных строительных деталей и крупных блоков из бесцементного пенобетона, бетона и малоцементного железобетона; сланцезольно-силикатного кирпича, а также портландцемента, минеральной ваты и тонкомолотого минерального наполнителя для асфальтобетона из слан-

цевого кокса и полукокса, производство которых необходимо организовать.

Все сказанное на совещании о свойствах сланцезольных строительных материалов позволяет считать их не случайными заместителями, а полноценной разновидностью строительных материалов, со специфичными свойствами и широкими возможностями применения.

В качестве положительных результатов проведенной научно-исследовательской работы следует особенно отметить установление некоторых основных закономерностей процессов минералообразования в сланцезольных материалах при обжиге неорганической части кукурсита и при твердении сланцезольного теста. Весьма успешным оказалось при этом применение методов точных наук, в частности физической химии. Практические ценные результаты получены при разработке различных способов производства дешевых строительных материалов из сланцевой золы, особенно плодотворно проходившей в содружестве с работниками промышленности. Это позволило организовать в Таллине опытный промышленный выпуск сланцезольно-пенобетонных перегородочных плит и крупных блоков. Значительный интерес представляют изучение ускорения твердения сланцезольных вяжущих при пониженных температурах и другие исследования.

При всем этом, однако, нельзя не отметить, что строительная наука и в данной области серьезно отстает от нужд и запросов передовой строительной практики, потребностей индустриализованного строительства. Далеко не завершены исследования основ производства сланцезольных строительных материалов и деталей, полностью отвечающих современному уровню науки и техники и удовлетворяющих растущим требованиям строительства; совершенно недостаточен объем исследований по долговечности сланцезольных материалов. Работы по изучению процессов минералообразования еще не развернуты с достаточной широтой. Слабо разработаны и обоснованы способы сжигания горючего сланца, обеспечивающие оптимальные вяжущие свойства золы и условия твердения сланцезольных вяжущих. Не начаты исследования по изучению свойств материалов, получаемых при расплавлении сланцевой золы. Почти полностью отсутствуют исследования в области экономики строительства. Недостаточно изучены физико-механические свойства сланцезольных строительных деталей и строительно-эксплуатационные свойства конструктивных элементов зданий из сланцезольных материалов. Последнее обусловлено прежде всего очень медленным развертыванием опытного производства и особенно крайне недостаточными темпами и объемами осуществляемого опытного строительства.

Такое положение может затормозить бурное перспективное развитие строительства. Оно требует ликвидации отставания путем ускорения внедрения результатов исследований, координации работ и объединения сил исследователей, более широкого

и интенсивного использования современных точных методов научно-исследовательской работы для кардинального решения задач строительных наук.

Одновременно нельзя не подчеркнуть и вопиющего разрыва между уже установленными широкими возможностями массового производства и применения строительных материалов из сланцевой золы и огарков и их фактическим использованием строительной промышленностью. За четыре года, прошедшие со времени Первого совещания по расширению использования золы горючего сланца-кукерсита в строительстве, хотя применение сланцевой золы в производстве и осваивается, не прибавилось ни одного промышленного предприятия, перерабатывающего сланцевую золу для строительных целей. Проектирование нового завода сланцевозольных вяжущих два года подряд срывается Ленинградским филиалом Росстромпроекта, причем проектная организация не стесняется приводить в свое оправдание недостаточность якобы данных по технологии этого несложного предприятия, хотя такой же завод сланцевозольного вяжущего бесперебойно и прибыльно работает в г. Таллине с 1949 г.

Все это тормозит освоение производства и внедрение в строительстве материалов из золы пылевидного сжигания сланца, обладающей значительно лучшими свойствами, чем другие промышленные виды сланцевой золы. Консервативность и неоперативность производственных организаций системы Министерства промышленности строительных материалов СССР продолжает приносить огромный вред народному хозяйству: растут и превращаются в негодные отбросы горы пылевидной сланцевой золы — дешевого вторичного сырья для производства различных строительных материалов, в том числе и крупноразмерных сборных строительных деталей.

Предпосылкой резкого перелома в использовании сланцевозольных материалов является признание на деле горючего сланца-кукерсита комплексным сырьем, проектирование и строительство предприятий по его переработке в едином комплексе, которые безостаточно и с наибольшим народнохозяйственным эффектом использовали бы сланец, добываемый из недр. Очень существенно отметить, что проблема комплексного энерго-технологического использования сланца в части, касающейся его неорганической составляющей, совпадает (по современной направленности) с проблемой индустриализации строительства северо-западных территорий Советского Союза на базе местного сырья. Именно поэтому освоение производства сланцевозольных строительных материалов и деталей промышленностью является актуальнейшей задачей.

Первоочередной задачей научных работников следует считать решение вопросов, необходимых для выполнения главной задачи строителей, заключающейся в сокращении сроков строительства со своевременным вводом в эксплуатацию зданий и сооружений,

в снижении стоимости строительства и улучшении его качества, а также вопросов производства сборных строительных деталей на сланцезольных вяжущих, в частности завершения разработки основ технологии производства крупных бесцементных блоков и указаний по их применению.

Необходимо продолжить работу по раскрытию закономерностей процессов минералообразования в сланцевой золе при обжиге и при твердении сланцезольного вяжущего, как надежной научной основы наиболее целесообразного применения материалов из неорганической части горючего сланца в строительстве; установить основные причины специфических свойств сланцезольных строительных материалов и возможности их улучшения; наметить пути ускорения твердения сланцезольных вяжущих; начать исследования свойств расплавов сланцевой золы.

Особое внимание должно быть уделено изучению долговечности различных сланцезольных материалов и «детским болезням» периода освоения новых материалов, а также экономике применения их в строительстве.

Исследовать надлежит и такие виды неорганических отходов переработки горючих сланцев, как, например, золы газогенераторных станций, применение которых в строительстве более затруднительно, чем применение золы пылевидного сжигания сланца.

Из выдвинутых первым совещанием задач не решены и сохраняют актуальность:

а) изыскание эффективных способов помола сланцевой золы (активной работы в этом направлении не ведется);

б) вопрос комплексного использования месторождения горючего сланца-кукерсита в части установления возможностей рационального применения в строительстве известняковых включений и пластов;

в) подготовка внедрения использования сланцевых огарков в качестве сырья для портландцемента, которую в течение уже ряда лет ведет «Гипроцемент». Министерство промышленности строительных материалов СССР недооценивает значение этого вопроса для Северо-Запада Советского Союза. Оно не оказало Институту строительства и строительных материалов АН ЭССР поддержки в доведении до конца подготовки внедрения получения портландцемента из сланцевого кокса во вращающейся печи. Получение на заводе им. Воровского в Ленинграде 1000 тонн высококачественного цемента из сланцевого кокса убедительно подтвердило правильность результатов заводского опыта, организованного Институтом в 1952 г. на заводе «Пунане Кунда» (в ЭССР).

Решение перечисленных задач позволит осуществить комплексное использование горючего сланца-кукерсита с применением неорганической его части для индустриализации строительства. Однако это не означает, что исследования возможности произ-

водства из сланцевой золы различных строительных материалов, доложенные на настоящем совещании, недостаточно зрелы для внедрения. Проверка их производственными опытами, а некоторых и опытным производством убедительно говорит об обратном. Совещание имеет все основания рекомендовать производство и применение ряда строительных материалов из сланцевой золы, подчеркнуть целесообразность скорейшего использования золы пылевидного сжигания сланца, а также эффективность гидротермической обработки сланцезольных материалов, желательность запаривания и достаточность во многих случаях пропаривания при обыкновенном давлении. Одновременно не лишне предостеречь и от упрощенчества при выборе вариантов применения сланцевой золы: получение материалов с хорошими строительно-техническими свойствами из некондиционированных отходов предполагает применение и достаточно действенных технологических приемов их обработки во избежание значительных колебаний свойств этих материалов.

Нельзя не признать также, что и борьба Института строительства и строительных материалов АН ЭССР за внедрение сланцезольных материалов была недостаточной для преодоления некоторого недоверия к ним. Особенно велико отставание с опубликованием статей по итогам работ, выполненных по вопросам производства и применения сланцезольных строительных материалов. Этот пробел должен быть восполнен в ближайшие же месяцы.

В заключение разрешите принести от имени Организационного комитета и Института строительства и строительных материалов АН ЭССР благодарность всем участникам совещания за активно проведенную работу и в особенности пожелать сил и успехов в дальнейшей работе по расширению использования местных материалов в строительстве.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Р. Т. Махль. Вступительное слово	3
С. С. Бауков. О геолого-промышленной оценке горючих сланцев Прибалтики	7
М. Я. Губергриц. Неорганические отходы при термической (химико-технологической) переработке сланца	14
Х. К. Труу. Неорганические отходы при сжигании сланца	22
Н. Л. Дилакторский и Е. А. Галибина. К вопросу о процессах минералообразования, протекающих при нагревании сланцевой золы и твердении гидратированных продуктов обжига	31
Х. Я. Мяндметс. Свойства сланцевольных строительных вяжущих веществ	47
В. Х. Кикас. Фракционный состав циклонной золы топок пылевидного сжигания	58
В. Х. Кикас. Влияние температуры на скорость твердения сланцевольных вяжущих	67
В. Х. Кикас. Влияние условий обжига на свойства сланцевольных вяжущих	80
Г. А. Метс и В. Х. Кикас. Применение методов рентгеноструктурного анализа для исследования минералогического состава сланцевой золы	89
О. А. Маддисон. Использование сланцевольных вяжущих в строительстве в Эстонской ССР	95
И. А. Хинт. Производство строительного камня из сланцевой золы и песка	118
Х. Х. Корровиц. Применение золы от сжигания пылевидного сланца для изготовления бетонных и железобетонных строительных деталей	127
Ф. П. Кивисельг. Сланцевольный пенобетон	138
Э. Г. Оямаа. О долговечности сланцевольных строительных материалов	151
Д. Е. Горбачев. К вопросу твердения и долговечности зольных вяжущих материалов	162
С. П. Вески. Вопросы экономики применения сланцевольных вяжущих в строительных растворах	176
Р. П. Рейзман. Крупноразмерные строительные детали из сланцевольных вяжущих	183
В. П. Полонский. Заключительное слово	191

СЛАНЦЕВОЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Обложка В. Томасов.

Эстонское государственное издательство, Таллин, Пярну маантеэ 10.

*

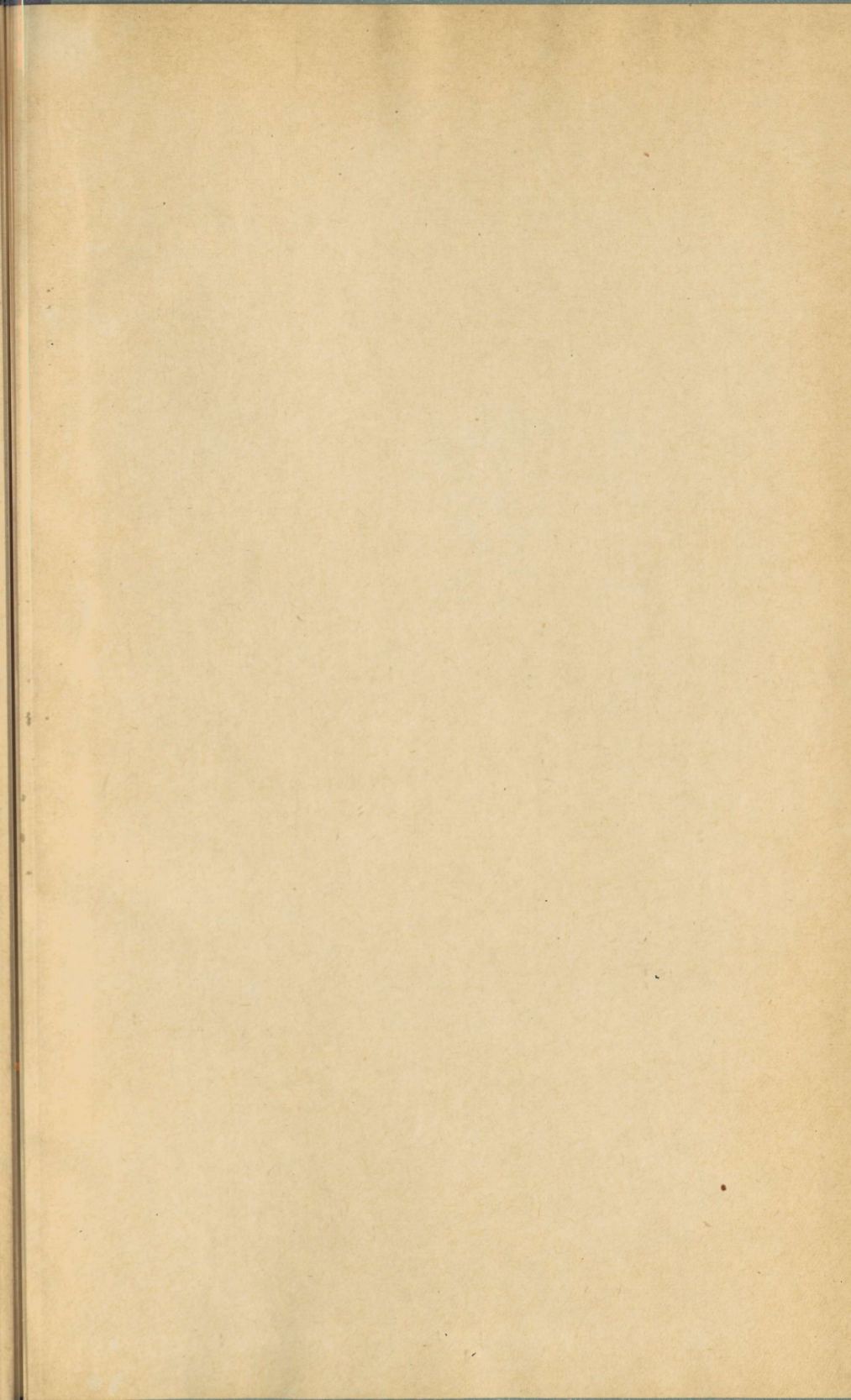
Редактор Н. Л. Дилакторский.

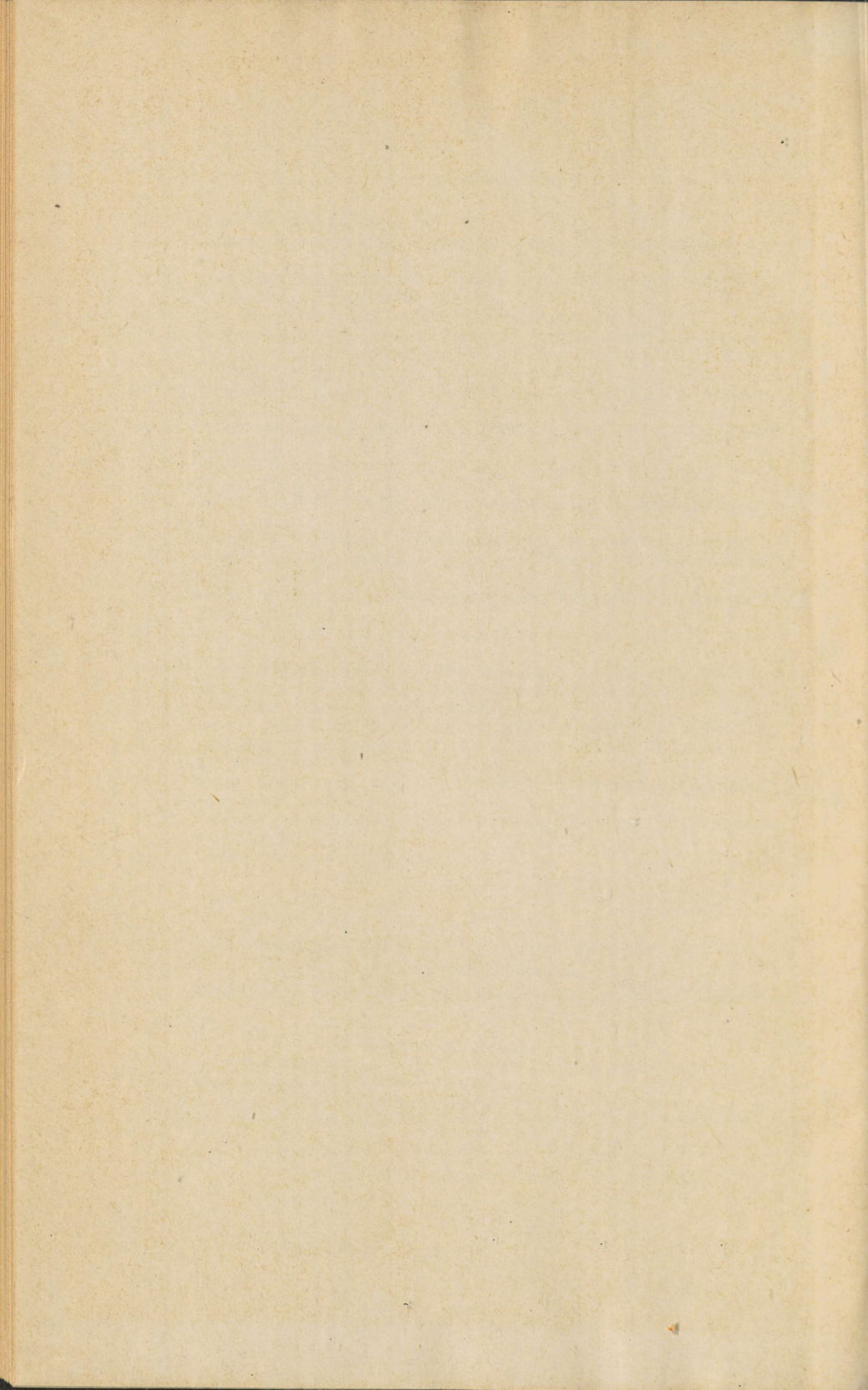
Технический редактор Т. Митт. Корректор С. Пальм.

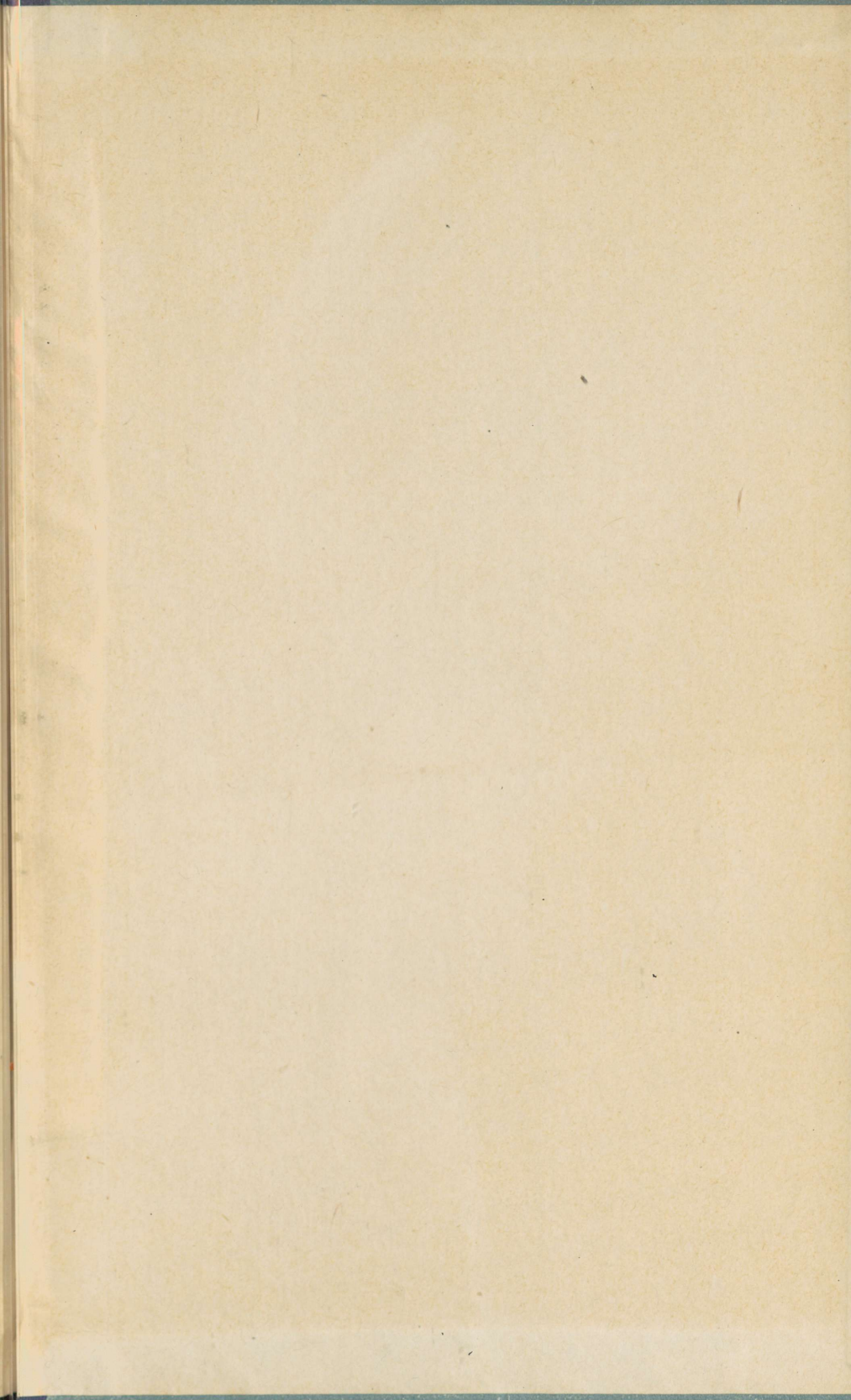
Сдано в набор 10 VI 1955. Подписано к печати 14 IX 1955. Бумага 60×92, 1/16. Печатных листов 12,25. Учетно-издательских листов 11,62. Тираж 1000. МВ-17228. Заказ № 3032.

Типография «Коммунист», Таллин, ул. Пикк 2.

Цена 9 руб. 15 коп.







9 руб. 15 коп.

XI

A-5149

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00546979 8

9 руб. 15 коп.

XI
A-5149

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00546979 8

Сланцезольные материалы в строительстве

АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



ЭСТОНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИН 1955